電圧変調型中赤外バンドパスフィルタによるガス検出精度向上の検討

Investigation on sensitivity improvement of gas detection using electrically controllable mid-infrared band-pass filters

堀場製作所 [1]，京大院工 [2]，○粟根悠介 [1,2]，井上卓也 [2]，野田進 [2]

HORIBA, Ltd.[1], Kyoto Univ. [2], ○Y. Awane[1,2], T. Inoue[2], S. Noda[2]

E-mail: yusuke.awane@horiba.com

【序】中赤外領域(3~15μm)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。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 [1),2)]、上記の電圧変調型フィルタが従来と比べ高速なガス検出に適用できる可能性を確認した [3)]。今回、上記の電圧変調型フィルタを利用したガス検出システムの雑音レベルおよび最小検出吸光度に関して、定量的な分析を行い、検出精度のさらなる向上手法を検討したので報告する。

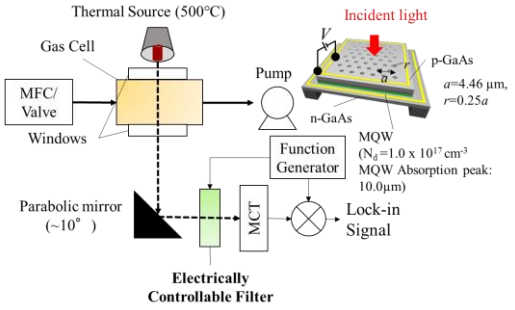

Fig. 1 Gas detection setup and bird's eye view of the modulation filter

【分析】黒体光源と電圧変調型狭帯域フィルタからなるガス検出システムの測定系を Fig. 1 に示す。変調フィルタは、n 型 GaAs/AlGaAs 多重量子井戸（MQW）層を含む薄膜に，三角格子円孔 PC を導入した構造であり(Fig. 1 挿入図)、電圧を印加することで量子井戸の ISB-T 吸収が変化し、PC の共振周波数における透過率を変調する。今回、同システムの雑音レベルの評価を行うため、フィルタの透過率を 1kHz で変調した状態で同期信号を取得し、その時間平均値（A）と雑音成分の 3σ 値（B）を測定した。最小検出吸光度を、$-\mathrm{Log}_{10}$ [(A-B) /A]で定義し、アラン分散の手法を用いて、信号積算時間ごとの最小検出吸光度を算出したところ、積算時間 5s において最小検出吸光度 4.1 x 10^{-3}abs.が得られた。これは、機械式チョッパとバンドパスフィルタを組み合わせたシステムの最小検出吸光度の測定結果（1.0 x 10^{-3} abs.）よりも大きく、変調パワーの違いが主に影響していると考えられる。今回、変調型フィルタのフォトニック結晶共振周波数が加工誤差により当初の設計と比べて短波となり、MQW サブバンド間吸収と一致していないことで透過率変化量が低下しており、検出精度の向上には変調型フィルタの透過率変化のさらなる増大が重要である。

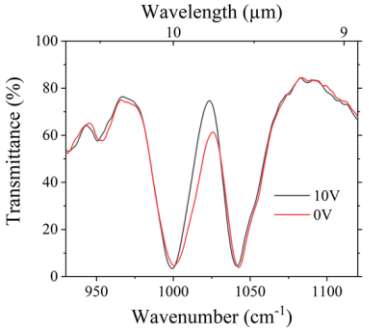

Fig. 2 Measured transmittance modulation spectra of the electrically controllable filter.

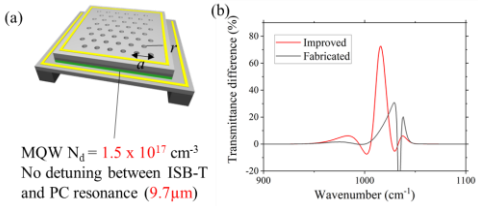

Fig. 3 (a) Improved design of the modulation filter and (b) Calculated spectra of the fabricated and improved modulation filter.

【改良設計】Fig. 3(a)に改良後の変調フィルタの設計を示す。電圧印加による ISB-T 吸収変化を増大するため、PC の共振周波数と ISB-T 周波数が完全に一致するように PC の格子定数の微調整を行い、かつ MQW のドーピング密度を 1.5 倍に増大した。現状の構造と改良後の構造の透過率変化量の計算結果を Fig. 3(b)に示す。上記の改良により、最大透過率変化が 75%に達し、変調パワーは 2.3 倍に増大出来る。加えて、黒体輻射光源の温度を 800℃に増加させ、検出器の集光角を 15° まで増加させれば、変調パワーは現状の 8 倍に増加し、最小検出吸光度 5.4 x 10^{-4} abs. の実現が可能と期待される。これにより、市販の NDIR センサと比較し同程度の最小検出吸光度を実現しつつ、サンプリング速度を kHz オーダーまで高速化でき、かつ機械式チョッパを削減できるため大幅な小型化が可能になると期待される。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) 粟根他 2019 春応物 11p-W631-4. 3) 粟根他 2019 秋応物 a21a-E208-5.

© 2020年 応用物理学会