

小型光学式マルチガスセンサの開発

Development of compact optical multi gas sensor

朝日一平¹, 杉本幸代¹, 二宮英樹¹, 下川 房男², 高尾 英邦², 大平 文和²
筒井 靖之³, 林 宏樹³, 今野 隆³, 福田 和秀⁴, 遠藤 彰⁴, 須藤 昌明⁴, 福原 俊介⁵

I. Asahi¹, S. Sugimoto¹, H. Ninomiya¹, F. Shimokawa², H. Takao², F. Ohira²
Y. Tsutsui³, H. Hayashi³, T. Konno³, K. Fukuda⁴, A. Endo⁴, M. Sudo⁴, S. Fukuhara⁵

¹(株)四国総合研究所, ²(国)香川大学, ³アオイ電子(株), ⁴テクノサクセス(株), ⁵四国電力(株)

¹Shikoku Research Institute Inc., ²Kagawa University

³Aoi Electronics Co., Ltd., ⁴Techno Success Co., Ltd., ⁵Shikoku Electric Power Co., Inc.

Abstract: Compact optical gas sensors based on the Raman effect and ultraviolet absorption spectroscopy were developed. These sensors are miniaturized and do not require alignment, because the mirrors and optics are fixed onto a precisely machined micro optical bench made by a micro machine technology. The measured signals showed good linearity against the gas concentrations. The detection limit using the Raman effect was 1% for hydrogen or 2000 ppm for methane, and the detection limit using ultraviolet absorption spectroscopy was 5 ppm for ammonia and sulfur dioxide for an optical path length of 20 mm.

1. 序論

現在、保安用、大気計測用をはじめ幅広い分野においてガスセンサが用いられており、その市場規模は年間およそ 500 億円に達する。また、将来的にはさらに多機能・高性能化が必要であり、ガスの特定性、リアルタイム性、マルチガス検出等の観点で他の検知方式に対し優位性のある光学計測技術に基づくガスセンサの小型・低コスト化が求められている。これらの背景から本研究では小型光学式マルチガスセンサの開発を目的とした。光学式ガスセンサは、構成の大部分を光学素子の固定治具やアライメント機構が占める。ここでは、マイクロマシニングにより製作した高精度マイクロ光学ベンチを用いることにより、光送受信部における光学的アライメントを不要とし、センシング部の超小型化を実現した。また、原理として、ラマン効果と紫外吸収分光法を用いた小型ガスセンサをそれぞれ製作し、両者のマルチガス濃度計測機能を検証したのでその結果について報告する。

2. 実験装置構成と濃度計測手法

2.1 ラマン効果を用いたガスセンサ

ラマン効果を用いた小型光学式ガスセンサの装置構成を Fig.1 に示す。光源に小型 DPSS レーザ（波長 532nm、パルスエネルギー 200 μ J、パルス幅 3ns、PRF1kHz）を用いた。センサチップは、フォトリソグラフィによりガラス基板上に形成されたマイクロ光学ベンチ（20mm \times 30mm）に光ファイバとマイクロレンズの光学系が高精度で配置されている。レーザ光は光ファイバにより被検ガス雰囲気中に置かれたセンサチップへ伝送される。チップ上のコリメータレンズから照射されたレーザ光によって生じるラマン散乱光は集光レンズにより受光ファイバに導入される。

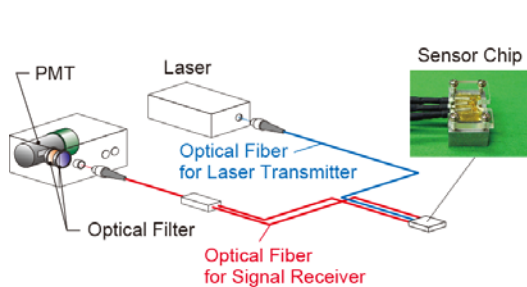


Fig. 1. Schematic diagram of compact multi gas sensor using Raman effect

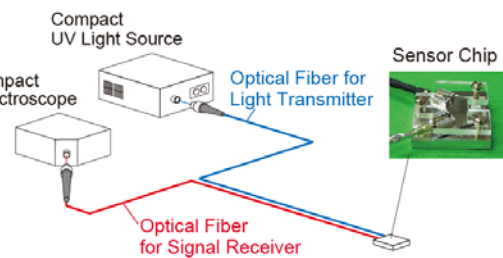


Fig. 2. Schematic diagram of compact multi gas sensor using UV absorption spectroscopy

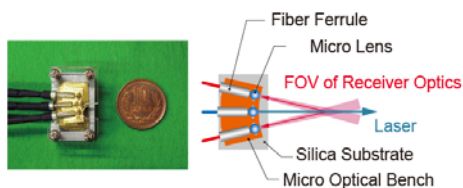


Fig. 3. Optical configuration of Raman type sensor chip

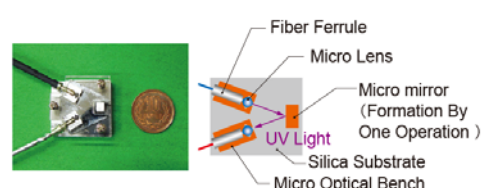


Fig. 4. Optical configuration of UV absorption type sensor chip

レーザー光と受光系視野の重なり長は 12.5mm である。伝送されたラマン散乱光は、光学フィルタにより波長選択され、光電子増倍管による O/E 変換を経てオシロスコープに表示される。一般にラマン散乱光は極めて微弱であるが、ここではセンサチップの小型化により散乱光源の至近距離での受光が可能となったことに加え、レーザー光軸と受光光軸の重なり角の最適化、受光系の増設により、微小領域におけるラマン効果を用いたガス濃度計測を可能とした (Fig.3)。

2.2 紫外吸収分光式ガスセンサ

紫外吸収分光法に基づく小型光学式ガスセンサの装置構成を Fig.2 に示す。光源に重水素ランプを用いた。観測波長域は 200 ~230nm である。広帯域の紫外光は送信側光ファイバにより被検ガス雰囲気中に置かれたセンサチップへ伝送される。センサチップはフォトリソグラフィにより精密光学ベンチとマイクロミラーが一括形成されており、送受信の光ファイバとマイクロレンズが高精度配置されている。チップ上に導光された紫外光はマイクロミラーにより反射された後、受信側光ファイバに導入される。実効光路長は 20mm である。被検ガスを通過した光は、小型分光器へ伝送されスペクトル強度が測定される。光源に紫外光を用いることで、赤外域の光吸収にくらべ 1000 倍以上の感度が得られる。また、センサチップ上にミラー構造を一括形成することにより、一切のアライメント機構を用いることなく微小領域における光路長を確保することができる (Fig.4)。

3. 実験結果

製作した小型光学式ガスセンサを用いて、被検ガスが充填されたガスセルにセンサチップを挿入し、複数の分子種について濃度計測機能試験を行った。セル内のガス濃度は窒素ガスとの流量比により制御した。ラマン散乱型ガスセンサによるメタンガスからのラマン散乱信号の測定結果例を Fig.5 に、水素及びメタンガスのラマン散乱信号ピーク値の濃度依存性を Fig.6 に示す。また、紫外吸収型ガスセンサによる NH₃ 50ppm および SO₂ 50ppm における吸収係数の測定結果を Fig.7 に、吸収係数の極大値にあたる波長 208.5nm における NH₃ の吸収係数および波長 206.7nm における SO₂ の吸収係数の濃度依存性を Fig.8 に示す。本試験により、水素ガス 1%、メタンガス 2000ppm、NH₃ ガス及び SO₂ ガスをそれぞれ 5ppm の検出下限で検知することが可能であること、また得られた信号がガス濃度に対し良好な線形の相関を示すことを検証した。

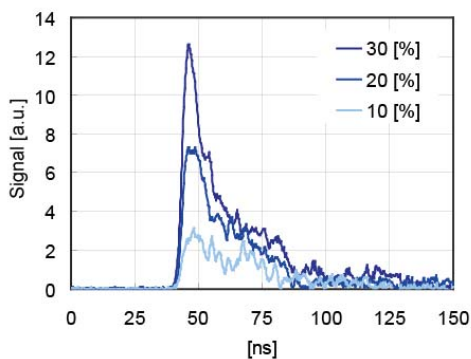


Fig. 5. Raman scattering signals for CH₄

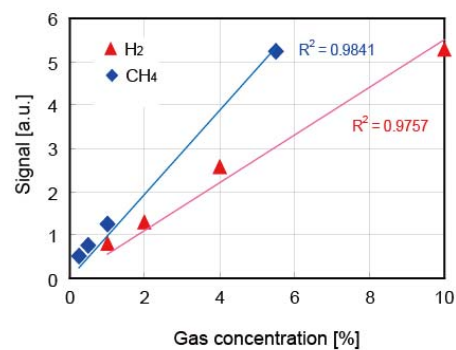


Fig. 6. Dependence of Raman signal of H₂ and CH₄ on concentration

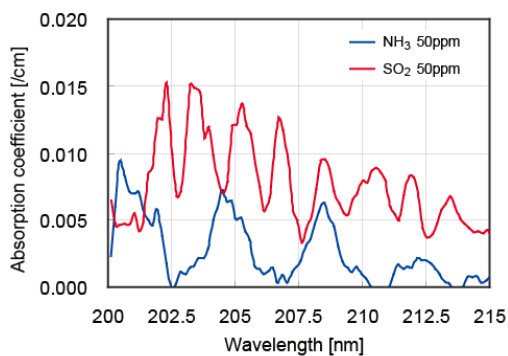


Fig. 7. Absorption coefficient of NH₃ and SO₂

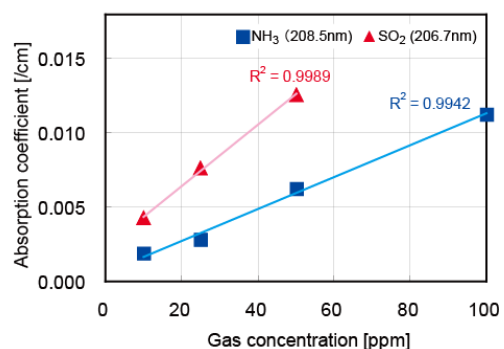


Fig. 8. Dependence of absorption coefficient of NH₃ and SO₂ on concentration

4. 結論

ラマン効果及び紫外吸収法に基づく小型光学式ガスセンサを試作し、機能検証試験を行った。マイクロマシン技術により製作した小型センサチップを用いてガス濃度計測機能試験を行い、複数のガスを対象として、高い測定性能が得られることを検証した。本技術により、従来にない微小な領域における光学的ガス濃度計測が可能となった。また、本システムはセンサ部に電気系を一切含まないため、防爆構造を要する環境におけるガス濃度計測にも優位である。