

# ラマン効果を用いた小型光学式マルチガスセンサの開発

## Development of compact optical gas sensor using Raman effect

朝日 一平<sup>1</sup>, 杉本 幸代<sup>1</sup>, 星野 礼香<sup>1</sup>, 二宮 英樹<sup>1</sup>  
長峰 勝<sup>2</sup>, 高地 一美<sup>2</sup>, 萱原 祥仁<sup>2</sup>, 黒田 眞司<sup>2</sup>, 藤井 達也<sup>2</sup>, 山地 貴史<sup>2</sup>, 中元 優介<sup>2</sup>, 井上 拓<sup>2</sup>  
水谷 康男<sup>3</sup>, 岡本 賢二<sup>3</sup>, 泉川 栄二<sup>3</sup>, 山下 真<sup>3</sup>, 尾崎 雅宣<sup>3</sup>  
篠崎 亮輔<sup>4</sup>, 岡 勇作<sup>4</sup>, 下川 房男<sup>4</sup>, 高尾 英邦<sup>4</sup>  
戸井 弘<sup>5</sup>, 福田 和秀<sup>5</sup>

I. Asahi<sup>1</sup>, S. Sugimoto<sup>1</sup>, A. Hoshino<sup>1</sup>, H. Ninomiya<sup>1</sup>  
M. Nagamine<sup>2</sup>, K. Takachi<sup>2</sup>, Y. Kayahara<sup>2</sup>, S. Kuroda<sup>2</sup>, T. Fujii<sup>2</sup>, T. Yamaji<sup>2</sup>, Y. Nakamoto<sup>2</sup>, T. Inoue<sup>2</sup>  
Y. Mizutani<sup>3</sup>, K. Okamoto<sup>3</sup>, E. Izumikawa<sup>3</sup>, M. Yamashita<sup>3</sup>, M. Ozaki<sup>3</sup>  
R. Shinozaki<sup>4</sup>, Y. Oka<sup>4</sup>, F. Shimokawa<sup>4</sup>, H. Takao<sup>4</sup>  
H. Doi<sup>5</sup>, K. Fukuta<sup>5</sup>

<sup>1</sup>四国総合研究所, <sup>2</sup>長峰製作所, <sup>3</sup>伸興電線, <sup>4</sup>香川大学, <sup>5</sup>テクノ・サクセス  
<sup>1</sup>Shikoku Research Institute, <sup>2</sup>Nagamine Manufacturing, <sup>3</sup>Shinko Electric Wire  
<sup>4</sup>Kagawa University, <sup>5</sup>Techno-Success

**Abstract:** In this study, the compact optical gas sensor using Raman effect was developed. This sensor was consisted of sensor chip, main system and monitor. The Sensor chip was made from ceramic to measure gases under high temperature(400°C). The sensor chip was connected to the main system with optical fibers and laser beam and Raman scattering light was sent by the fibers. The main system that was consisted of laser of wavelength 532nm, PMT, and A/D converter was possible to carry. The Results of measurement was displayed on monitor.

### 1. 序 論

光学式的ガスセンサ或いはガス分析装置は、応答が速く、ガス種の同定、マルチ成分計測が容易である、また、非接触計測であるなどの優れた特徴をもつことから、様々な製品が開発され、市場に展開されている。しかしながら一般に、装置が大型で高コストであること、構造が複雑であることが制約となり、適用分野は制限されている。これらの背景から著者らはこれまでに、光学式ガスセンサの小型化を目的とした研究開発を進め<sup>1)</sup>、レーザラマン分光法に基づく可搬性の高いマルチガスセンサを開発した。ここでは、システム構成、光送受信光学系の構成について述べる。

### 2. センサチップの開発

本センサは、将来的に市場の拡大が予想される水素ガスや、吸収分光法による計測が困難なガス種への適用を目的としており、ニーズ調査の結果から、計測機能の目標値を水素ガス 0.1%以下とした。また、用途の拡大の観点から、センシング部の耐熱温度の目標値を 400°C以上とした。これらの目標を満たすためには、センシング部(以下センサチップ)の光学系の設計と材質の選定が重要となる。製作したセンサチップの光学系配置を Fig.1 に示す。

本センサでは、レーザによる外乱光を抑制するために、レーザ照射光学系とラマン散乱光の受光光学系を分離した構造をとっている。受光レンズはレーザ光軸を中心に周囲 4 方向に配置されており、センサチップ先端から照射されたレーザ光により生じるラマン散乱光を直近から高効率で集光でき、且つ小型化を実現するために必要な光学

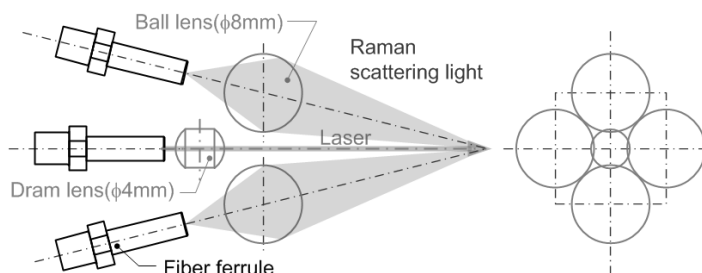


Fig.1 Optical configuration of sensor chip

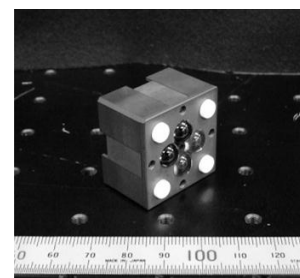


Fig.2 Appearance of sensor chip

系が集積された配置となっている。受光系を4本とすることにより、水素ガス0.1%を検出するために必要なラマン散乱光を得ることができる。

本センサチップは、これらの構造を調整不要で精度よく配置でき、且つ高温環境にて動作しなければならないため、ここではセラミックス材料を用いた精密光学ベンチを開発した。実用モデルの外観を Fig.2 に示す。寸法は30×30×20mmである。セラミックス光学ベンチは、多数の部品を組み合わせて完成する構造となっており、小型光学部品を実装するだけで高精度に光送受信光学系が実現できる。汎用のセラミックス材料では、レーザの迷光により生じた材料そのものの蛍光が受光光学系に結合し、ラマン散乱光測定の外乱となる。したがって、光を透過せず、蛍光がほとんど生じないセラミックス材料を選定し適用した。

### 3. システムの開発

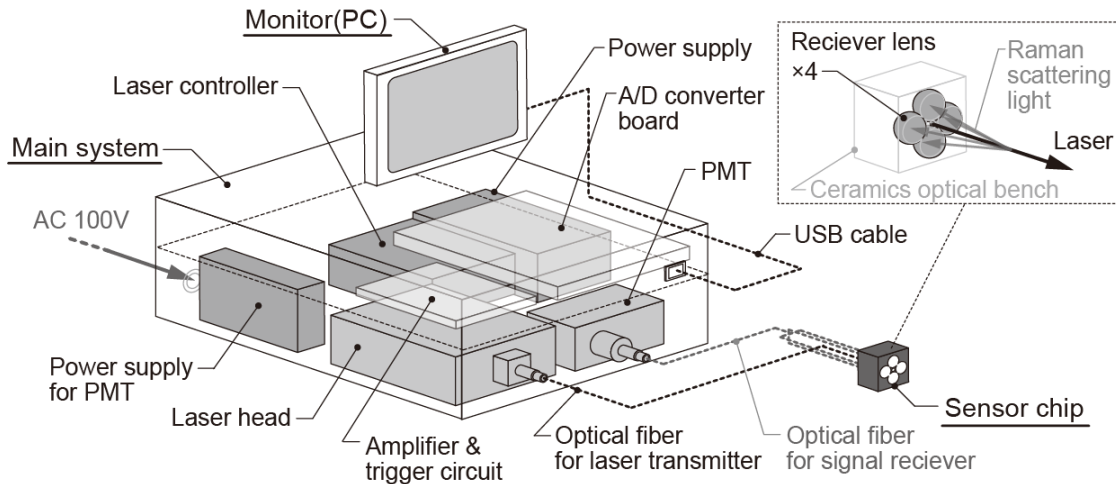


Fig.3 Configuration of compact optical gas sensor using Raman effect.

本センサのシステム構成を Fig.3 に示す。本センサは光源や受光器等が内蔵された本体(寸法 400×450×150mm)と、測定箇所に設置しレーザ光の照射とラマン散乱光の集光を行うセンサチップ及び、ガス濃度を演算しリアルタイムに表示する PC 等の表示部により構成される。光源には、システムのコンパクト化及びレンズ、光ファイバ等光学部品の汎用性を考慮し、小型 DPSS Nd:YAG レーザ (波長 532nm, パルスエネルギー 200μJ, パルス幅 9ns, 繰り返し周波数 1kHz) を用いた。この場合、水素ガスのラマン散乱波長は 683.2nm である<sup>2)</sup>。パルスレーザ光はカップリングレンズ (NA0.16) により送信光ファイバ(コア径φ200μm, NA0.22)に結合され、センサチップへ伝送される。センサチップ先端から照射されたレーザ光により生じるラマン散乱光を、先端から約 30mm の位置にフォーカスされたカップラと受信光ファイバ(コア径φ550μm)で構成される受光光学系で集光、伝送する。本体に受光素子として光電子増倍管が配置され、伝送された光は、レーザ光を遮断するエッジフィルタと、各種ガスに対応する干渉フィルタにより選択され、検出される。光電子増倍管により得られた信号は、増幅され、高速 A/D コンバータ(サンプルレート 1.5GS/s)により、低損失で変換される。A/D コンバータの同期には、レーザ光の一部を取り出し、PD で検出した信号を用いた。得られた信号は USB ケーブルにより任意の PC に伝送され、専用のソフトウェアによる演算処理の後、ガス濃度としてディスプレイ上に表示される。

### 4. 結論

ラマン効果を用いた小型光学式マルチガスセンサの実用モデルを開発した。開発目標を市場ニーズに合わせ、水素ガス 0.1%が検知でき、耐熱性を有することを条件とし、センサチップ寸法 30×30×20mm、本体寸法 400×450×150mm の可搬性の高いセンサシステムを実現した。なお、計測機能試験やフィールド試験結果については別途報告する。発表では、更に小型・高度化、低コスト化を目指して進めている、受光部への MEMS の適用なども含め、装置構成の詳細を報告する(本研究は、経済産業省平成 24・25 年度地域イノベーション創出実証研究補助事業の一環として行われたものである。)

### 参考文献

- [1] 朝日一平, 杉本幸代, 二宮英樹 他:「マイクロマシン技術を用いた小型光学式マルチガスセンサ[II]ーラマン散乱型と紫外吸収分光型ガスセンサの特性ー」, 電気学会論文誌 E, Vol.133-E, No.9, pp260-266 (2013)
- [2] R. M. Measures: “Laser remote Sensing”, John Wiley and Sons, New York, p.108 (1984).