

# 光学式ガスセンサーの開発

(可燃性ガス等を光で迅速に検知できるセンサーを開発する)

電子情報科 科 長 田 尻 健 志

2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、再生可能エネルギーの導入と関連産業の創出が期待されている。このような中、再生可能エネルギーの余剰電力を水素ガスに変換して貯蔵・利用する Power To Gas (P2G) が注目を集めている。しかし、水素ガスを含めた可燃性ガスは拡散して爆発しやすい特徴を持っているため、漏洩ガスを迅速に検知し爆発を未然に防ぐ必要がある。また、コストを抑え安全性を高めたセンサーシステムの実現は難しい。そこで本研究では、空間内の水素ガスを迅速・高感度に検知できる光学式の水素センサーを開発する。本報では、テーパ型光ファイバーを用いた、微小球の共振モード (WG モード) について検証した。

## 1. 緒言

2050 年カーボンニュートラルを実現するために、世界各国で CO2 排出抑制や再生可能エネルギーの導入拡大を目指している<sup>[1]</sup>。再生可能エネルギーを主力電源として利用するには、コスト、系統制約、調整力の問題を解決する必要がある。このような中、余剰電力を水素に変換して貯蔵・利用する Power To Gas (P2G) が注目され、実用化に向けた実証事業が進められている。水素ガスは正しい取扱いを行えば安全なガスであるが、他の可燃性ガスと比較すると拡散性や浸透性が高く、漏洩する危険性がある。また、空気中での爆発濃度範囲が 4%~75%と広いと、ガスが漏洩した場合には迅速に検知し、爆発を未然に防ぐ必要がある。

従来から利用されている水素センサーには、接触燃焼式や半導体式などがあるが、検知できるガス濃度範囲が低濃度範囲と狭く、検知時間にも数十秒が必要である。また、検知箇所を数百℃に加熱する必要があるため、加熱により水素ガスが爆発する危険性があり、消費電力量も高くなる。さらには、空間的なガス分布を把握するには、大量にセンサーを設置し、安全性と経済性を両立する必要がある。

そこで本研究では、多種の可燃性ガスにあわせたプローブモデルの選定を理論・実験の両面で行い、光学的に検知できる微小球プローブを開発する。また、微小球プローブを用いた試作装置を開発し、可燃性ガスの検出濃度範囲を評価する。

微小球プローブは、ある条件下で光を入射すると微小球内を周回する電磁波モードが発生し、特定波長の入射光が強く散乱されることが分かっている<sup>[2-3]</sup>。この周回する特有の電磁波モードは、ウィスパーリング・ギャ

ラリー・モード (Whispering Gallery Mode、以下 WG モード) と呼ばれており、微小球表面状態 (屈折率、コート厚み) に非常に敏感である。このため、本研究では WG モードの変化を利用することで、微小球表面に吸蔵した水素ガスを高感度に検知できるセンサーの開発を行う。微小球プローブはシンプルな構造であるため大量生産が容易であり、低コスト化に繋がる。また、空間に大量のセンサーを設置できるため、水素ガスの漏洩箇所や空間分布状態を把握することができる。

本報では、テーパ型光ファイバーを使用し、テーパ部から染み出すエバネセント光によりシリカ微小球を励起し、微小球の共振モード (WG モード) を確認した。

## 2. 研究内容と結果

### 2. 1 テーパ型光ファイバーによる微小球の励起

シリカ微小球を励起<sup>[4]</sup>するために、シングルモードファイバーを直径数  $\mu\text{m}$  になるまで引き伸ばしたテーパ型光ファイバー (フォトリソグラフィ製、細径部直径約 3~10  $\mu\text{m}$ ) を作製した。光ファイバーのテーパ部から染み出すエバネセント光を微小球に作用させることで、容易かつ効率的に WG モードを励起することができる<sup>[5]</sup>。

微小球を励起する光源は、白色光源 (ENERGETIQ 社製、LDLS 白色光源 EQ-99、 $\lambda=170\sim 2100\text{ nm}$ ) を使用し、集光レンズによりテーパ型光ファイバーへカップリングした。図 1 に示すように、テーパ型光ファイバーの細径部を顕微鏡のステージプレートに固定し、マニピュレータ (ナリシゲ社、最小駆動距離 1  $\mu\text{m}$ ) に設置したハンドツールプローブ (マイクロサポート社、

先端 5  $\mu\text{m}$ ) を用いて微小球を配置した。

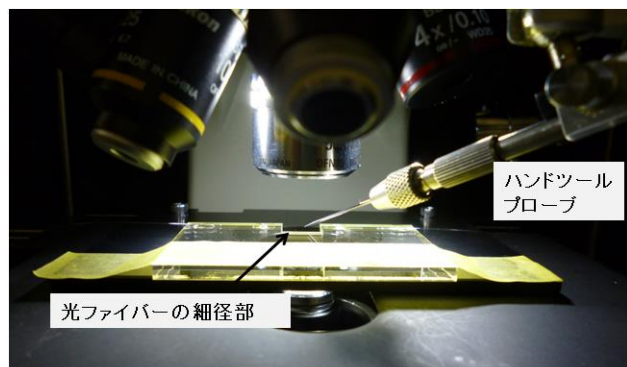


図1 テーパー型光ファイバーの細径部

図2 (a) ~ (c) は、ハンドツールプローブを操作し、微小球を光ファイバーのテーパー細径部に配置する様子を示す。配置した微小球は、図2 (d) に示すように、光ファイバーに白色光を入射し、テーパー部から微小球表面を励起した。

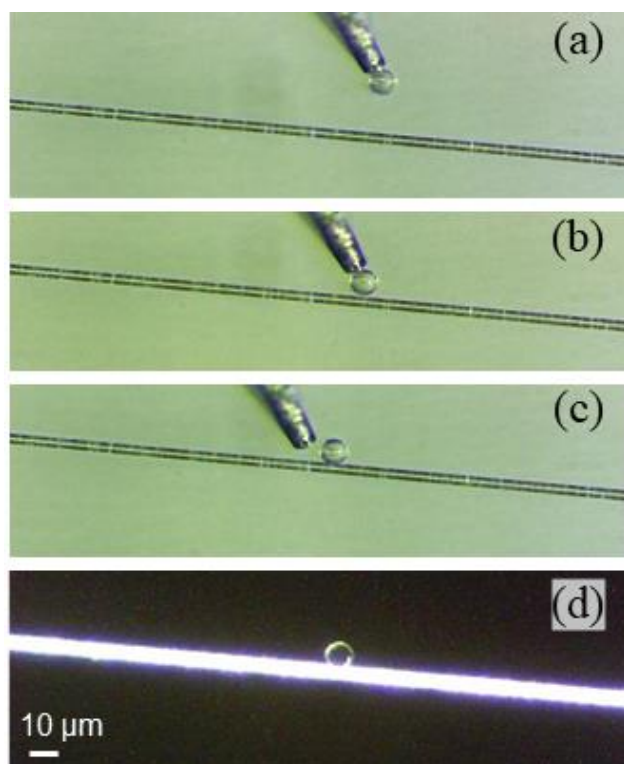


図2 テーパー細径部への微小球の配置と励起

## 2. 2 微小球の共振モード

図3は、光ファイバーのテーパー部から染み出すエバネセント光により微小球を励起し、光ファイバーからの出射光を分光器 (Stellarnet 社, EPP2000-HR) で検出したスペクトルである。560~640 nm の波長帯域

の中に周期的な共振ピーク波長を確認することができ、単一のシリカ微小球からの WG モードを検出していることがわかる。また、共振ピーク波長の間隔から、励起された微小球の直径は約 6~7  $\mu\text{m}$  と推測される。一方で、使用したテーパー型光ファイバーは偏光方向が保存されないため、TE 偏光と TM 偏光に対応した共振ピーク波長を確認することはできなかった。

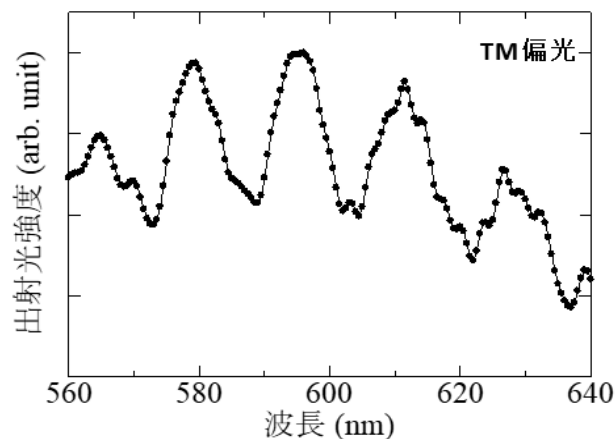


図3 シリカ微小球の共振ピーク波長

## 3. 結言

光ファイバーのテーパー部から染み出したエバネセント光により微小球を励起し、光ファイバーの出射光から微小球特有の共振モード (WG モード) を検出することができた。560~640 nm の波長帯域の中に約 15 nm 間隔の周期的な共振ピーク波長を確認し、シリカ微小球 (直径約 6~7  $\mu\text{m}$ 、屈折率 1.40) に依存した WG モードを検出できていることを確認した。次年度は、本システムに水素ガスを充填し、WG モードの変化を検証する。

## 参考文献

- [1] 資源エネルギー庁、第6次エネルギー基本計画、2021.
- [2] 福井萬壽夫、大津元一：光ナノテクノロジーの基礎、オーム社、2003.
- [3] T. Tajiri, S. Matsumoto, T. Imato, T. Okamoto, and M. Haraguchi, Anal. Sci., 30, pp. 799-804, 2014.
- [4] 田尻健志、岡本敏弘、原口雅宣：第84回応用物理学会秋季学術講演会、22a-A602-3, 2023.
- [5] 五神真、成田善廣：応用物理、第71巻6号、pp. 671-677, 2002.