

水素ガスの光学式検知技術の開発

(爆発誘因性の低い光学式ガスセンサー手法の開発と安全評価技術の構築)

電子情報科 主任研究員 田尻健志

脱炭素社会の実現に向けて、水素のエネルギー利用と関連産業の創出が期待されている。水素は電気や熱に変換し様々な用途に利用できるが、爆発し易い特徴を持っている。そのため、水素ガスを迅速に検知し、爆発を未然に防止する必要がある。しかし、既存の水素ガスセンサーは、検知できるガス濃度の範囲が狭く検出下限値の精度が悪い。また、大量にセンサーを配置できないため、水素ガスの漏洩箇所や空間分布を把握することができない。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検知技術を開発する。本報では水素ガスを充填し、単一の微小球を励起して散乱光を検出するシステムを構築した。

1. 緒言

パリ協定の目標を達成するために、世界各国でCO₂排出抑制や再生可能エネルギーの利用が促進されている。脱炭素化社会の実現に向けて、水素のエネルギー利用は注目を集め、水素関連産業の創出が期待されている^{[1][2]}。水素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、燃焼性も高いため、万が一ガスが漏れた場合には水素ガス濃度が一定以上に達する前に検知し、爆発を未然に防止する必要がある。

従来から利用されている水素センサーとして、接触燃焼式や半導体式などがあるが、検知箇所を数百℃に加熱する必要がある。そのため、加熱により水素ガスが爆発する危険性があり、消費電力も大きい。検知できるガス濃度の範囲も狭く、検知時間に数十秒が必要である。また、コストを抑えるためにセンサーの設置数が制限され、水素ガスの漏洩箇所や空間分布までを把握することはできない。

そこで本研究では、水素ガスを吸収できる微小球プローブの開発、および微小球プローブで吸収した水素ガスを迅速・高感度に検知できる光学式の検知技術を開発する。

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^{[3][4]}。この周回する特有の電磁波モードは、ウィスパリング・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

小球表面に吸収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、センサーの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を把握することができる。

本報では、水素ガスを充填し、単一のシリカ微小球を白色光源で励起して散乱光を検出するシステムを構築したので報告する。

2. 研究内容と結果

2. 1 単一微小球の散乱光検出システム

油浸対物レンズを使用し、全反射減衰配置における単一微小球の励起と散乱光を検出するシステムを構築した。図1に示すように、単一のシリカ微小球の計測部は、顕微鏡のステージプレート部にガラスベースディッシュ (IWAKI製、底面厚み 0.15~0.18 mm) を設置し、側面から水素を吸排気するチューブを取り付けた。また、ガラスベースディッシュは水素の漏洩を防止するため、Oリングとシールテープを用いて密閉した。



図1 微小球の計測部分

図2に示すように、微小球を励起する光源には、白

色光源 (ENERGETIQ社製、LDLS 白色光源 EQ-99、 $\lambda=170\sim 2100$ nm) を使用し、励起用に用いる油浸対物レンズ(ニコン製)は、NA(Numerical Aperture)=1.25、倍率100倍、WD(Working Distance)=0.17 mm を使用した。

図3に示すように、ガラスベースディッシュ底面のカバーガラスとの屈折率差を防ぐためマッチングオイル(屈折率 1.515) を使用し、励起光のスポット径が微小球以下になるように調整した。

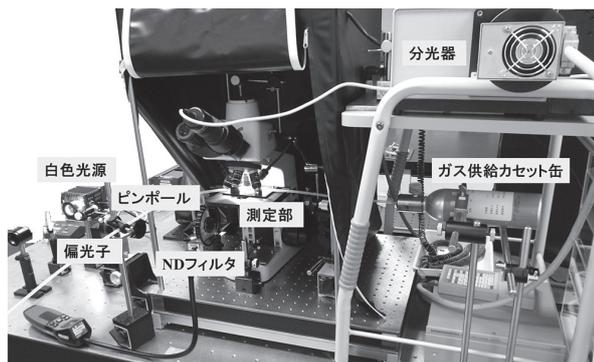


図2 白色光源による単一微小球の検出システム

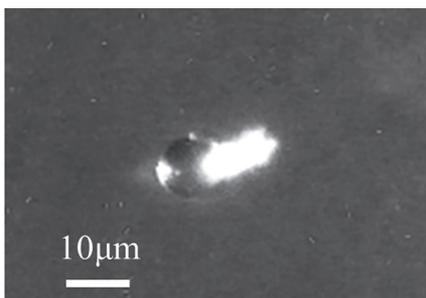


図3 単一微小球の励起状態

2. 2 単一微小球からの散乱光スペクトル

図4(a)は、2. 1で構築した単一微小球の検出システムを用い、空気中におけるシリカ微小球の散乱光を検出したスペクトルである。560~610 nm の波長帯域の中に TE 偏光と TM 偏光に対応した周期的な共振ピーク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。

次に、図4(b)は、Mie散乱理論の散乱断面積のフィッティングにより、空気中のシリカ微小球の光学モデルの検証を行った。微小球の球径と屈折率をそれぞれ $10.0\mu\text{m}$ と1.40、空気の屈折率を1.0としてフィッティングした結果、実験で検出した散乱光スペクトルのピークとほぼ一致していることがわかる。

この散乱光スペクトルは、水素が無い時の基準波形となる。共振ピークは微小球の表面変化に敏感である

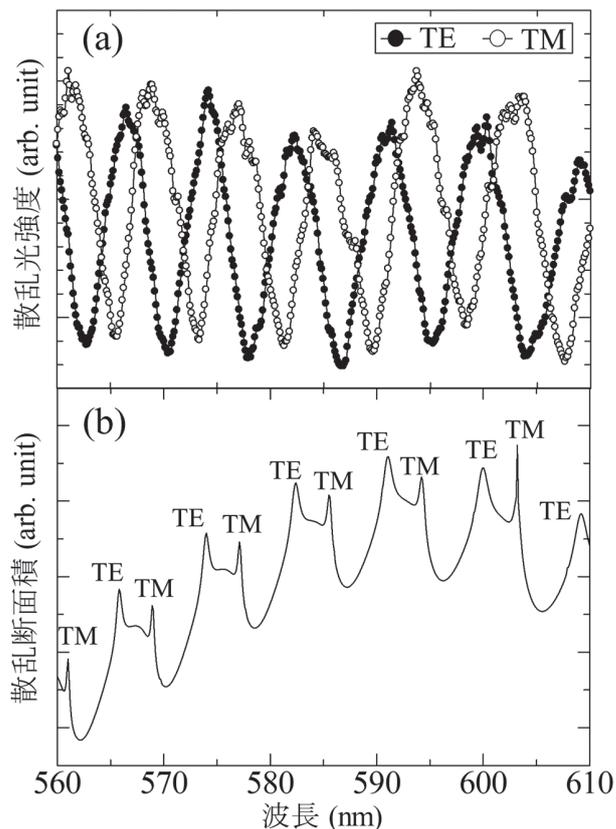


図4 シリカ微小球の散乱光スペクトル

ため、ガラスベースディッシュへ水素を充填することで変し、水素の有無を迅速に検知することができる。

3. 結言

封止したガラスベースディッシュの中で単一微小球を励起し、散乱光を検出する顕微分光計測システムを構築した。共振ピークが発生する散乱光をMie散乱理論と比較したところ、シリカ微小球の仕様(直径 $10\mu\text{m}$ 、屈折率1.40)と一致し、本システムがWGモードを検出できていることを確認できた。次年度は、コーティングしたシリカ微小球に水素ガスを充填し、本システムの性能評価を行う。

参考文献

- [1] 資源エネルギー庁, 第5次エネルギー基本計画, 2018.
- [2] 経済産業省, 水素・燃料電池戦略ロードマップ基本戦略, 2019.
- [3] 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.
- [4] T. Tajiri, S. Matsumoto, T. Imato, T. Okamoto, and M. Haraguchi, Anal. Sci., 30, pp.799-804, 2014.