

気中微量気体検出を指向した熱レンズ型光ファイバセンサ に関する研究

Study on Optical Fiber Sensor for Sensing Gases in Atmosphere based on Thermal Lens Spectroscopy

矢来 篤史
(Atsushi YARAI)

研究成果の概要

環境問題に密接に結びつく気体として CO₂、NO_x、非メタン系炭化水素などが知られている。これらの微量気体を高感度で遠隔検出できる光ファイバガスセンサの開発が求められている。さらには商用ガス(主成分メタン)の配管系におけるガス漏れ検出のためのファイバセンサの開発も強く望まれている。光ファイバをセンサに用いる利点は外部からの電磁ノイズ等の影響を全く受けないことにある。従来の光ファイバガスセンサは光ファイバを光導波路としてのみ使用し、ガスセル内での光吸収特性を測定することによりガス濃度を定量測定するものであった。この方法ではガス濃度の検出感度は吸収光路長に依存し、センサとして実用化する場合、検出部が極めて大きくなり、非実用的であるため、現在実用に供されているものはない。そこで本研究代表者らが従来提案した光ファイバ型熱レンズ検出装置の高感度検出特性に着目し、それをガスセンサに応用する研究を本研究費の助成により開始した。

センサ部は光ファイバの先端が先球加工されたものを互いに対向させたもので構成されており、その間にガスを充填する。ここで対向距離は左右それぞれの先球加工ファイバにおける焦点距離の和であり、その距離はわずかに数10 μm 程度である。つまりセンサ部は極めて小さなものであるため小型高精度化、強剛性化が可能となり、センサとして実用するには好都合である。被検出ガスの光吸収波長に対応した波長をもつレーザ光、つまり励起光を片方の光ファイバからガスに照射することにより、光吸収が生じ極わずかな温度上昇(～10⁻² K 程度)が生じる。これにより熱レンズが生成され、もう片方のファイバに入射する光強度が変化する。励起光と同時に通した検出光の光強度の変化を Lock-in 検出することにより、ガス濃度の定量検出が可能となる。

本研究では、まず検出部の光学結合効率などにつき理論的な解析を行いセンサ部の設計をおこなった。その結果、検出感度は先球半径、つまり先球加工ファイバにおける焦点距離に依存し、検出信号はガス濃度の2乗に比例することが明らかとなった。ついで本提案のガスセンサの検出感度を検討するため、光通信に広く用いられている波長1.55 μm 帯の半導体レーザ光を用い、この波長帯で吸収特性を有するアセチレンガス(¹²C₂H₂, P(13)吸収線)を被検ガスとして使用し、センサを試作し実験をおこなった。その結果、先球半径が小さくなるほど検出感度が増大することがわかり、また検出信号強度はガス濃度の2乗に比例することもわかった。これらの実験結果は先の理論解析結果を反映したものとなっていた。現在のところ先球半径10 μm のもので、ガス濃度にして3%の検出が可能となっている。今後センサと使用するためには更なる感度向上が必要であり、検出限界値0.1%程度が望まれる。そ

のための検討を現在おこなっており、近い将来その実現が可能となる予定である。

なお、これらの研究成果は米国電気電子学会主催のセンサに関する国際会議(IEEE Sensors 2004)で発表し、その講演論文として公表したと共に、米国物理学協会(AIP)発行の論文誌 Rev. Sci. Instrum. Vol.75, No.10 (2004) により世界に広く公表した。