

目的別テーマ：能動型光ファイバーの開発

17年度研究テーマ

15-4-3：ファイバオプティクスによる化学量センサとセンシングシステムの開発

ABSTRACT

In this paper describes a fiber optic chemical quantity sensor (Oxygen concentration, Carbon dioxide concentration, pH, Temperature etc.) by using fluorescence. There are based on fluorescence quenching phenomena. We have fabricated a microscopic luminous probe by using various luminescence materials. We have clarified various characteristics of these probe and application to chemical examination. Moreover, the fiber optic thermometer probe using chromium doped crystal such as spinel ($MgAl_2O_4:Cr^{3+}$) and ruby crystal ($Al_2O_3:Cr^{3+}$) are fabricated. The lifetime of these crystal decrease with temperature ranging from 0 to 500 °C. Above 500 °C, the thermal radiation intensity from the crystal increase with temperature. The chromium doped crystal is conspired to be useful for the fiber optic thermometer probe.

研究目的

光ファイバーの優れた特徴を巧みに利用した高精度でかつ信頼性の高い化学量計測用のセンサとセンシングシステムを構築することにより従来の電氣的センサでは計測が不可能とされる様な計測対象でも新たな計測手段を見いだす事を目的とする。

一年間の研究内容と成果

光ファイバーと有機・無機の光学素子とを組み合わせた種々のファイバオプティクスセンサを試作し、これらの実用的な化学量(酸素濃度、炭酸ガス濃度、pH、温度など)の測定用センサ及びセンシングシステムとしての活用と応用などについて様々な角度から考察と検討を加えた。

これらの結果の中で特に光ファイバーとクロムイオン添加した蛍光体(ルビーおよびスピネル等)を組み合わせたファイバオプティクスセンサの蛍光寿命を利用した温度センサは、常温から約500°Cの測定範囲で、測定精度の高い実用的な絶対温度センサとしての有用性を見出した。ここでは、主に蛍光体と光ファイバーとを組み合わせた光ファイバー温度計の高性能化を計ることを主要目的とし、クロムイオン添加蛍光体や希土類元素を添加した蛍光体の育成と評価を行い、光ファイバー温度計への応用の可能性を検討した。図1にサファイアファイバー上に単結晶を成長させた温度計の概略を示す。光導波路であるサファイアファイバー上に温度センサとなるルビー結晶が一体化しているため、光の伝送損失がなく、小型で耐熱性が高いという利点を持っている。図2にルビー(Cr 添加 Al_2O_3)結晶の蛍光寿命と温度特性の関係を示す。ルビーの蛍光寿命は室温で4msであり、他の蛍光体よりも数倍長いことがわかった。その蛍光寿命は温度上昇にともない単調に変化し、500°Cでは約0.1msまで減少した。500°C以上では蛍光の温度消光現象によって、蛍光強度の測定が困難になるが、図3に示すように蛍光の消光と同時にルビー結晶からの熱放射が観察される。この熱放射強度は温度に比例して増加するので、蛍光寿命と熱放射の温度変化を利用することで室温から2000°C付近までの温度を測定できる可能性があると考えられる。

ルビーのようなクロムイオンを添加した蛍光体は、500°Cで温度消光を起こすためにそれ以上の温度測定には不向きである。そこで、温度耐久性に優れた希土類添加蛍光体の温度センサへの応用を検討した。通常、蛍光体は光エネルギーを受けて蛍光を発するが、希土類蛍光体は熱を吸収して発光することが知られている。本研究では、希土類の熱による発光の温度特性を評価して温度計への応用

を検討した。図3にエルビウム添加石英ガラス ($\text{Er}:\text{SiO}_2$) の熱励起発光スペクトルを示す。石英ガラスからエルビウム元素特有の複数の発光ピークが可視域で観察された。この発光ピーク強度は800°C以上で現れ、温度に比例して強度が大幅に増加した。次にエルビウム添加石英ガラスの熱による発光の温度特性を利用して、酸素-プロパンガスバーナーの温度分布を測定した。図4にガスバーナーの温度分布の測定結果を示す。ガスバーナーの内炎および外炎の形状が明確に観察できた。内炎の温度は800°C以下で外炎の温度は1000°Cから1200°Cであることが確認できた。この実験結果は熱電対による測定結果と良く一致していた。以上の事から、希土類添加蛍光体は1000°C付近の高温測定に適した蛍光体であることが明らかになった。

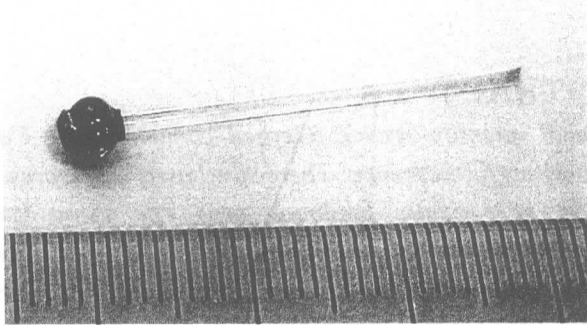


図1. サファイアファイバ上に成長させたルビー

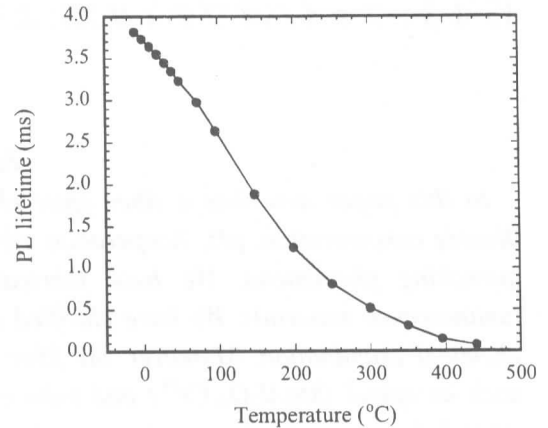


図2. ルビー結晶の蛍光寿命温度特性

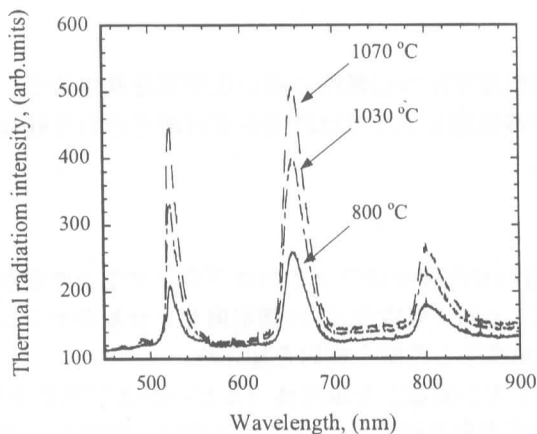


図3. $\text{Er}:\text{SiO}_2$ の熱励起発光スペクトル

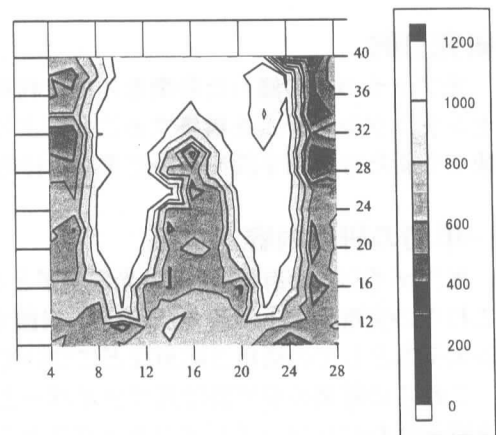


図4. ガスバーナーの温度分布測定

展望

大気中での酸素濃度が変化しやすい環境や宇宙空間 (スペースシャトル) などの酸素濃度モニター用の実用的な酸素濃度センサとしての可能性が見いだされ、これらのセンシングシステムの構築が望まれる。

電磁環境下やプラズマなどの特殊な環境下での温度計測には蛍光体の蛍光寿命の温度依存性を利用した高精度かつ高感度の光ファイバー温度計が有効と考えられる。温度センサとして用いる蛍光体には蛍光寿命が長く、励起・発光波長が可視域に存在するルビー ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$) やスピネル ($\text{MgAl}_2\text{O}_4:\text{Cr}^{3+}$) などに Cr^{3+} を添加した結晶が適していると考えられる。 Cr^{3+} 添加結晶の発光波長や蛍光寿命は Cr^{3+} を添加する母材によって変化する。従って、ルビーやスピネルとは異なる結晶構造を持つ YAlO_3 結晶 (ペロブスカイト型構造) に Cr^{3+} を添加した結晶を育成し、蛍光寿命や温度依存性を評価・検討することにより高精度かつダイナミックレンジの広い実用的な温度計の実現の可能性が大である。また希土類添加蛍光体は1000°C以上の高温測定への応用が大いに期待できる。