

目的別テーマ：能動的に機能する光ファイバーの開発

16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 research, we will report on a fiber optic chemical quantity sensor (Oxygen concentration, Carbon dioxide concentration, pH, Temperature) by using fluorescence. It is based on fluorescence quenching. The quenching ratio and lifetime of fluorescence are proportional to chemical quantity. 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 $YAlO_3$ ($Cr:YAlO_3$) and long afterglow phosphor, are fabricated. The lifetime of $Cr:YAlO_3$ decrease with temperature from 0 to 500 °C. Lifetime and temperature coefficients of $Cr:YAlO_3$ crystals were about 10 times larger than that of the conventional sensor material such ruby crystals. In addition, long afterglow phosphor was found to have advantage of extremely high sensitivity at around room temperature.

研究目的

光ファイバ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同センシングシステムを構築することにより従来の電気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・生体量の計測センサ及びセンシングシステムとしての活用と応用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無機光学結晶の蛍光寿命の温度特性と光ファイバの特長を組み合わせたファイバオプティクスセンサは、常温から約 600 °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、主に蛍光物質（蛍光体）と光ファイバとを組み合わせた光ファイバ温度計の高性能化を計ることを主要目的とし、クロムイオンを添加した $YAlO_3$ 結晶 ($Cr:YAlO_3$) 及び長残光蛍光体 ($SrAl_2O_4:Eu, Dy$) の育成と評価を行い、ファイバオプティクス温度計への応用の可能性を検討した。図 1 にファイバオプティクス温度計の構成図を示す。 $YAlO_3$ 結晶及び長残光蛍光体は吸収・発光波長が可視領域

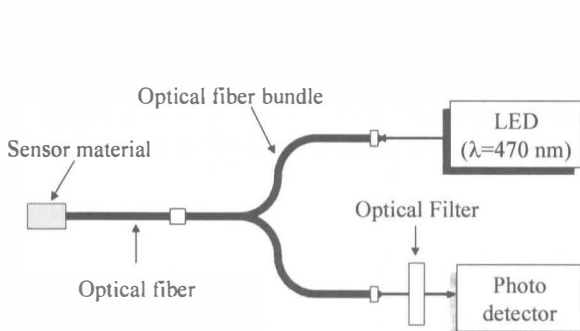


図 1. ファイバオプティクス温度計の構成図

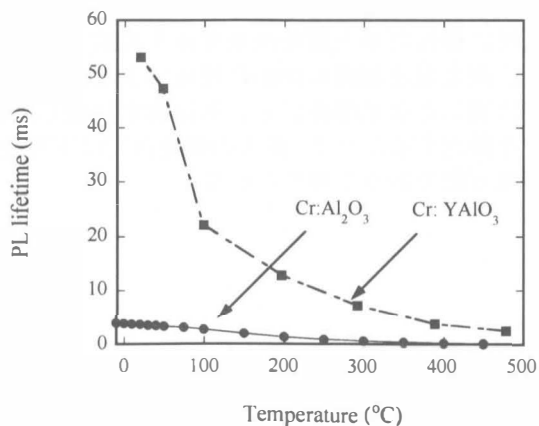


図 2. ルビー($Cr:Al_2O_3$)と $Cr:YAlO_3$ 結晶の蛍光寿命温度特性の比較

域に存在するため、励起光源に可視 LED、受光素子にシリコンフォトダイオードといった安価で扱いやすい光学部品を利用できた。図 2 に Cr:YAlO₃ 結晶とルビー(Cr:Al₂O₃)の蛍光寿命と温度の関係を示す。Cr:YAlO₃ 結晶の蛍光寿命は室温で約 40 ms であり、一般的な温度センサ用蛍光材料であるルビーの蛍光寿命 (4 ms) と比較して 10 倍長い値を示した。また、Cr:YAlO₃ 結晶の測定感度は -75 μs/°C であり、ルビーの感度 (-10 μs/°C) よりも 7 倍高感度であることが判明した。Cr:YAlO₃ 結晶を利用したファイバオプティクス温度計は従来のものよりも高感度な温度計測が可能であると考えられる。

図 3 に長残光蛍光体の残光強度の減衰曲線 (測定周波数: 10 Hz) を示す。長残光蛍光体の蛍光寿命は温度によって大きく変化した。また、長残光蛍光体の蛍光寿命は数時間に及ぶため、図 3 の減衰曲線において残光が観察された。その残光強度も温度によって変化した。図 4 に長残光蛍光体センサチップの蛍光寿命の温度依存性を示す。長残光蛍光体センサチップの蛍光寿命は、温度範囲 0 °C ~ 80 °C の間で温度上昇と共に 0.1 ms ~ 2.7 ms まで増加する。この温度範囲での長残光蛍光体センサチップの温度係数は +360 μs/°C と、ルビーに比べて 36 倍も大きく、蛍光寿命を 1 μs の分解能で測定した場合、測定分解能は約 0.003 °C と、高分解能な温度測定が期待できる。

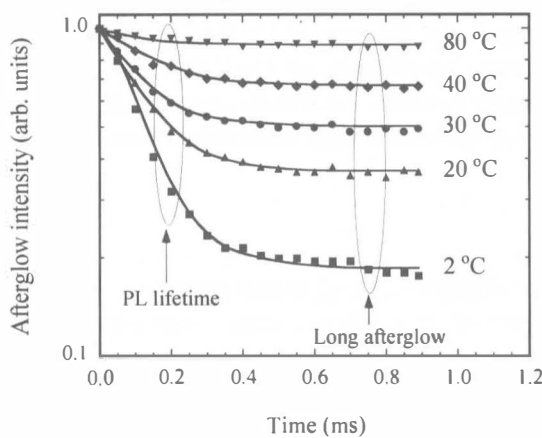


図 3. 長残光蛍光体の残光強度の減衰曲線 (測定周波数: 10 Hz)

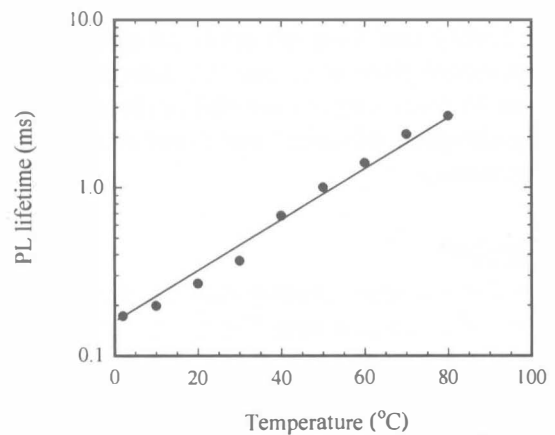


図 4. 長残光蛍光体の蛍光寿命の温度変化

展望

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でかつ高感度の光ファイバ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 (Cr:Al₂O₃)、スピネル(Cr:MgAl₂O₄)や Cr:YAlO₃ 結晶などの Cr³⁺を添加した結晶や長残光蛍光体が適していると考えられる。しかし、これらの蛍光体は 0 °C ~ 600 °C の範囲では高精度な温度測定が可能であるが、温度消光を起こすために高温測定は困難である。この問題点を克服するために、温度耐久性に優れた希土類添加蛍光体を育成し、蛍光強度や寿命の温度依存性を評価・検討することにより、測定温度範囲の拡張が期待できる。また、ファイバオプティクスセンサの特長を生かし、低温測定に適した蛍光温度計と、高温測定に適した放射温度計を複合させたファイバオプティクス温度センサを検討することで、従来の温度計では不可能であった室温から 2000 °C までの広範囲な温度測定が実現可能であると考えられる。