

Development of Plastic Optical Fiber Sensors

武藤 真三, 佐藤 洋司, 森沢 正之

Shinzo Muto, Hiroshi Sato and Masayuki Morisawa

山梨大学電子情報工学科, 甲府市武田4-3-11

Department of Electrical Eng. & Computer Sci.,

Yamanashi University, 4-3-11 Takeda, Kofu, 400

Optical fiber sensors using functional plastics have been studied. Plastic fibers with the specific clad-layers, which are made of the fluorescent or absorptive dye-doped polymer, operated as excellent optical sensors with good sensitivity and a fast response time for humidity and for toxic gases, respectively. Plastic fibers containing of polystyrene derivatives could also be used for sensing magnetic field and discharge current in the high-voltage circuit.

1. はじめに

最近, プラスチック光ファイバ (POF) による近距離光通信網 (LAN) の構成や光センサ応用など種々の研究が注目をあびてきている。いうまでもなく, これらの多くは POF の安価で取り扱い易い光伝送路としての特徴のみを利用するものである。しかし, POF の今後の発展を考えると, これに種々の機能性を付与したり, POF のもつ他の光機能性の利用などを図る必要がある。このような観点から, 我々は色素などの機能性有機材料をドープした POF の開発などについて研究しているが, 本論文では特に光センシング機能をもつ POF の作成とその応用について述べる。

2. 蛍光性 POF による湿度センシング

クマリン族やキサントン族の色素の中には, 図 1 に示すように水分子の吸着によってイオン化を生じ, 蛍光性が高くなるものがある。¹⁾ これらの色素を高分子中にドープしたときにも同様な反応を生じると, これは湿度センシング材料として利用できることになる (図 2)。そこで本研究では, ウンベリフェロン (クマリン族) やフルオレセイン (キサントン族) などの色素をポリメタクリル

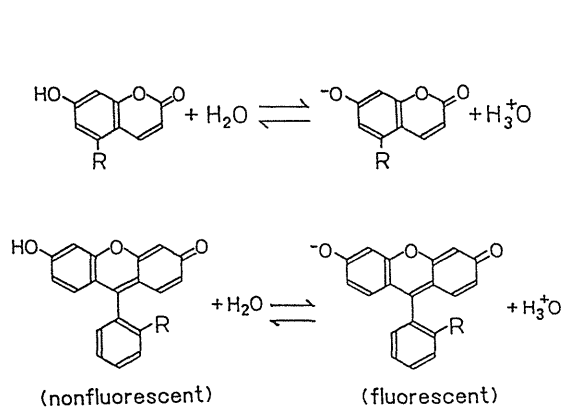


Fig.1 Ionization reactions of dyes caused by the attachment of water molecules

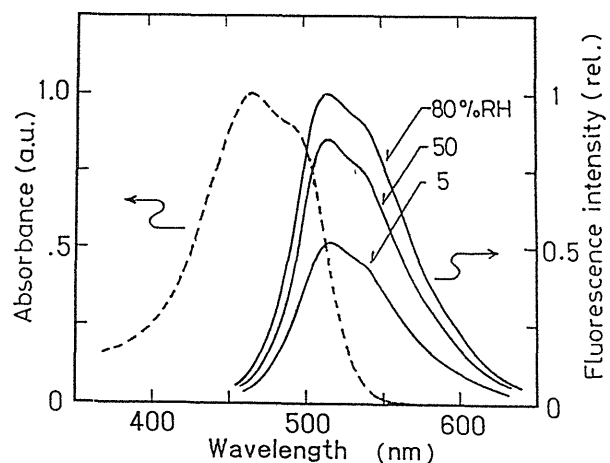


Fig.2 Absorption and fluorescence spectra of fluorescein doped into PVA film

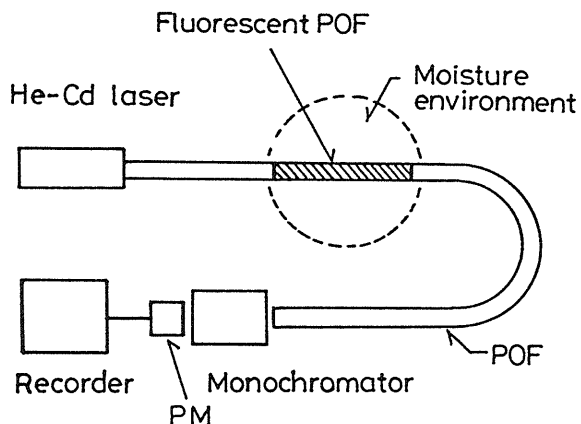


Fig. 3 System of optical humidity sensor using fluorescent POF.

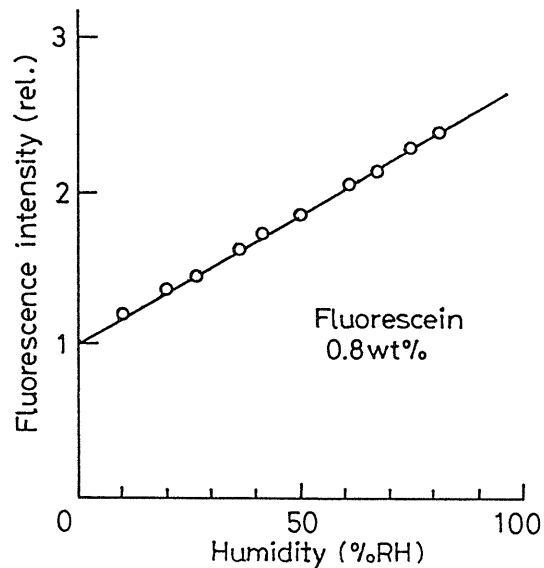


Fig. 4 Fluorescence intensity as a function of humidity

酸メチル (PMMA) とともに1,4-ジオキサンに溶かし、それを直径約1mmφのプラスチックのコア上に厚さ数μmの活性クラッド層としてコートした。長さ5~10cmに切断して両端面を研磨したこの蛍光性POFをセンサヘッドとして用い、入出力側には通常のPOFを接続した図3のようなファイバ湿度センサ系を構成した。ジャケット内の湿度は湿った空気と乾燥窒素の注入によって調整し、抵抗変化を原理とする市販の湿度計でモニタした。フルオレセイン色素ドープの蛍光性POF利用の場合には、励起光に波長441nmのHe-Cdレーザを使用した。このとき得られた蛍光強度の湿度依存性を図4に示す。

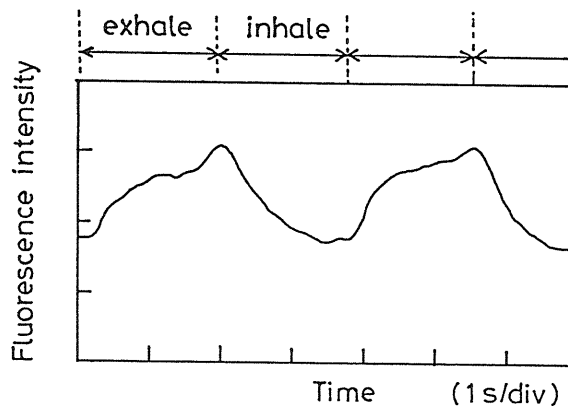


Fig. 5 Typical waveform of the breath

同図から明らかなように、蛍光強度の増加割合は湿度に対してよい直線性を示した。また、その応答も極めて速い。ちなみに、呼気内の水分による応答を調べた1例を図5に示したが、このように呼吸や咳などによる鼻口付近の急激な湿度変化にも追従した。この結果は、患者などの呼吸状態を非接触でモニタする医療用としても利用可能ことを示す。また、ウンベリフェロン色素ドープの蛍光性POFを用いたときにも、これらと同様な特性が得られている。

3. 吸光性POFによる有毒ガスセンシング

pH指示薬として知られるチモールブルーなどの色素(非蛍光性)は、水溶液中で酸性あるいはアルカリ性分子が付着すると各々カチオンあるいはアニオンとなり(イオン化反応)、その吸収特性が大きく変化する³⁾。この反応を利用するため、チモールブルー色素を親水性をもつポリビニルアルコール(PVA)膜中にドープし、それをクラッド層とするPOF(吸光性POF)を作成した。図6にはこの吸光性POFをNH₃ガスやHClガスに暴露したときの吸収スペクトルの変化を示したもので、この結果より、プローブ光としては橙色LEDやHe-Neレーザ(λ=633nm)などがNH₃ガス用に、また緑色LEDや波長544nmの緑色He-NeレーザなどがHClガス用に適することがわかる。

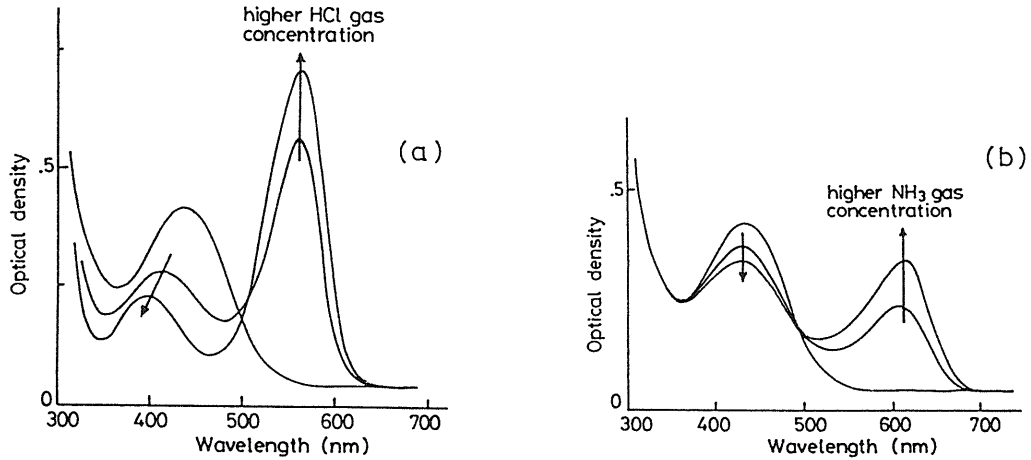


Fig. 6 Absorption spectra of tymolblue-doped PVA film with gas exposure. (a) for HCl and (b) for NH₃ gas.

そこで、図2と同様なファイバガスセンサ系を構成し、窒素で希釈したこれらの有毒ガスのジャケット内濃度測定を試みた。図7にその応答特性の1例を示す。この図から明らかなように、NH₃ガス注入時には透過光強度はすばやく減少し、それを排気するとまた元のレベルに戻って可逆的応答をした。応答速度は先の湿度センサと比較すると遅いが、これはチモールブルー色素ドープPVAクラッド層の厚さや反応の活性化エネルギーの違いなどによって考えられる。図8はガス濃度に対する透過光強度の減少割合の測定結果で、双方のガスに対して、10ppm以下まで検出可能なことがわかる。

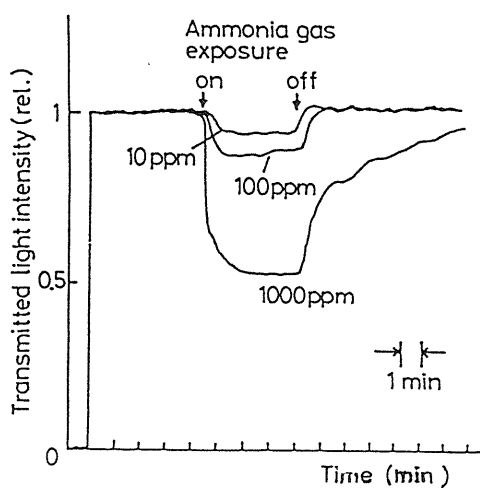


Fig. 7 Response of fiber gas sensor for NH₃ detection

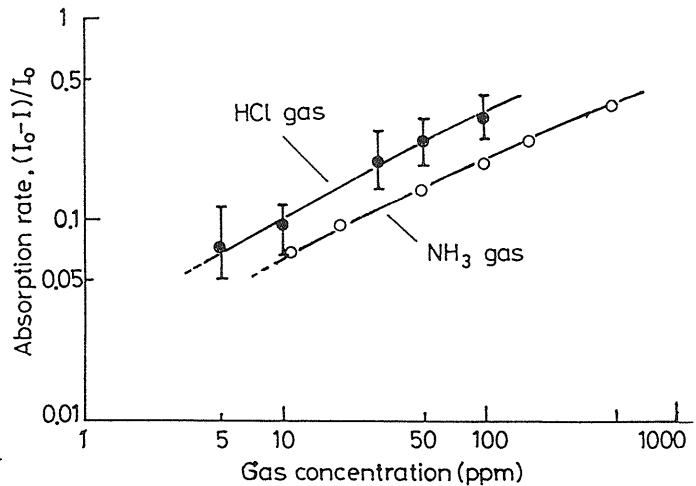


Fig. 8 Calibration curve of fiber gas sensor

4. POFによる電流・磁界センサ

反磁性は全ての材料が備える性質であるが、ポリスチレン系やベンジルメタクリル酸系のプラスチックにおいては、その効果すなわち磁気光学効果が比較的大きく現れる。これは高分子ユニット中のフェニル基の数に関係する。実際、メタクリル酸(MMA)とベンジルメタクリル酸(BzMA)を共重合させて得たプラスチック試料においては、フェニル基をもつBzMAの割合を増すとそれに比例してベルデ定数が増加した。代表的測定例として、ポリ α メチルスチレン(P α MS)

のベルデ定数 V ($\text{min} \cdot 0e^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) の波長依存性を図9に示す。 V の値は λ^2 に逆比例して増加した。これらのプラスチックは可視域では透明であるので、磁気光学的 POF として利用できる。⁴⁾ここでは、磁気光学的 POF の両端に平行配置のフィルム状偏光子と検光子をつけ、これに通常の POF を接続して図10のような平板状の高電圧放電回路内に挿入し、そこでの磁界・電流センシングを試みた。

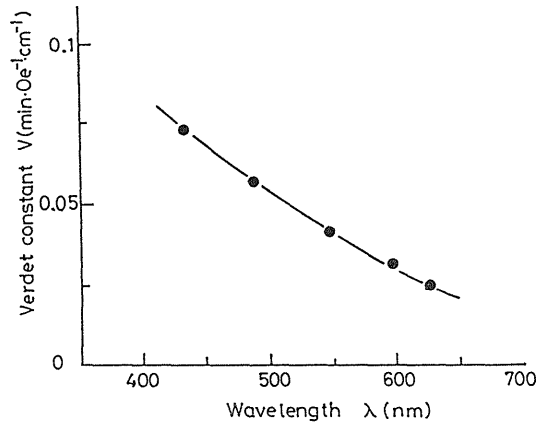


Fig. 9 Verdet constant of PMS vs. wavelength.

図11はこのとき得た透過光強度の変化で、この波形から簡単な計算によって放電電流波形を求めることができる。その結果、 t (μs) とすると

$$I(t) = 12.3 e^{-0.018t} \sin(0.153t) \quad [\text{kA}]$$

となった。

5. むすび

プラスチックファイバ自身に機能性をもたせた光ファイバセンサをいくつか検討した。その結果、蛍光性 POF や吸光性 POF のクラッド中にドーブされた色素への気体分子の吸脱着時の可逆的光化学反応によって、湿度や NH_3 ガス、 HCl ガスなどの光センシングが可能になることが明かにされた。また、磁気光学 POF によるセンサ応用も確かめられた。今後、他の機能性 POF についても検討したい。

参考文献

- 1) S. Muto et al: Jpn. J. Appl. Phys., **28**, No. 6 (1989) L1065.
- 2) 森沢, 深沢, 小川, 武藤: 光学, **20**, No. 2 (1991) 82.
- 3) S. Muto et al: Jpn. J. Appl. Phys., **28**, No. 6 (1989) 125.
- 4) S. Muto, N. Seki, S. Ichikawa and H. Ito : Opt. Commun. **81** (1991) 273.

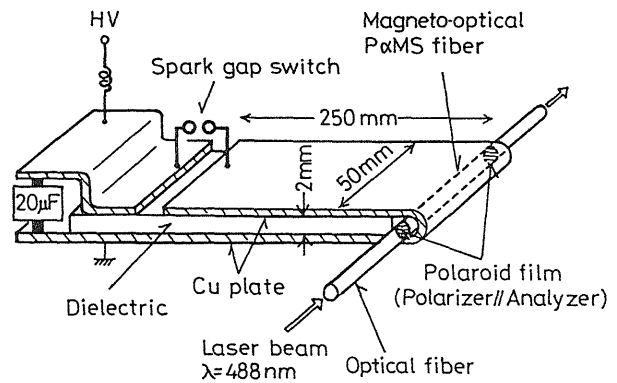


Fig. 10 Optical measuring system of current using magneto-optical POF.

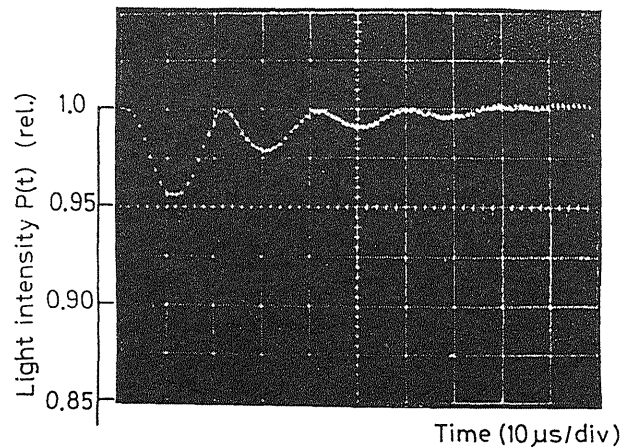


Fig. 11 Detected light intensity change in the current sensor.