

# 全フッ素化プラスチック光ファイバ中の多モード干渉を用いた超高感度歪・温度計測

## Ultra-sensitive strain/temperature measurement based on multimode interference in perfluorinated plastic optical fibers

東京工業大学 精密工学研究所 ○沼田 剛毅 林 寧生 田原 麻梨江 水野 洋輔 中村 健太郎  
 P. & I. Lab., Tokyo Tech ○Goki Numata, Neisei Hayashi, Marie Tabaru, Yosuke Mizuno, and Kentaro Nakamura  
 E-mail: {gnumata, ymizuno, knakamur}@sonic.pi.titech.ac.jp

### 1. はじめに

光ファイバを用いた歪・温度センサは、軽量・小型・電磁界耐性などの特長を有し、これまでに種々の測定原理に基づく手法が開発されてきた。その中でも、光ファイバ中の多モード干渉を用いたセンサは、実験系が非常に簡素であるため精力的に研究が推進されている。多モード干渉を実現する手法の一つとして、多モード光ファイバ (MMF) を単一モード光ファイバ (SMF) で両側から挟んだ SMS 構造が知られている [1-3]。

Liu ら [1] は、1.8 m の屈折率傾斜型 (GI) のシリカ MMF を用いて、1550 nm 帯で歪感度 +18.6 pm/μ $\epsilon$ 、温度感度 +58.5 pm/°C (1300 nm 帯での +15.6 pm/μ $\epsilon$ 、+49.1 pm/°C に相当) を得た。また、Tripathi ら [2] は、歪・温度感度の絶対値および符号は MMF の構造 (コア径) や材料 (ドーパント) に大きく依存することを示した。更に、Huang ら [3] は、より大きい歪の測定にも適用できるように、MMF として標準的なアクリル (PMMA) をベースとしたプラスチック光ファイバ (POF) を導入し、1570 nm 帯で歪感度 -2.82 pm/μ $\epsilon$  および温度感度 +93.1 pm/°C (1300 nm 帯での -2.33 pm/μ $\epsilon$ 、+77.1 pm/°C に相当) を得た。

一方、我々は POF 中の多モード干渉信号とブリルアン散乱信号を併用することで、歪と温度の分離計測を実現したいと考えている。しかし、光学機器が充実している通信波長帯では PMMA-POF の光伝搬損失は極めて高く、これまでにブリルアン散乱信号は観測されていない。そこで、ブリルアン散乱信号が実測されている通信波長帯で比較的低損失 (約 250 dB/km、1300 nm 帯では 20 dB/km) な全フッ素化 (PF) GI-POF [4,5] の利用を検討している。

そこで本研究では、SMS 構造を用いて PFGI-POF 中の多モード干渉に基づくセンサを構築し、その歪感度・温度感度を実験的に評価した。

### 2. 実験系

長さ 1 m の PFGI-POF を MMF として用いた。標準化されている全 3 種類のコア径 (50 μm、62.5 μm、120 μm) のサンプルを用意した。実験系を図 1 に示す。中心波長 1320 nm、帯域幅 110 nm の波長走査光源 (SSL) の出力光を、シリカ SMF を介して PFGI-POF に入射した。透過光のスペクトルは、シリカ SMF を介して光スペクトルアナライザ (OSA) で観測した。PFGI-POF と SMF との結合は突合せ接合 [4] で実現し、偏波状態は最適化した。歪および温度変化は、PFGI-POF の全長に対して印加した。

### 3. 実験結果

まず、コア径 62.5 μm の PFGI-POF を用いたときの測定結果について述べる。図 2 に PFGI-POF 透過前後の光スペクトルを示す。透過後のスペクトルには、多モード干渉による明瞭なディップが観測された。次に、ディップ付近のスペクトルおよびディップの中心波長の歪依存性を図 3 (a)(b) にそれぞれ示す。歪の増加に伴い、ディップは短波長側にシフトし、その依存係数は -1120 nm/% (= -112 pm/μ $\epsilon$ ) であった。この値は、PMMA-POF の約 50 倍である [3]。更に、ディップ付近のスペクトルおよびディップの中心波長の温度依存性を図 4 (a)(b) にそれぞれ示す。温度の上昇に伴い、ディップは長波長側にシフトし、その依存係数は +49.8 nm/°C であった。この値は、PMMA-POF の約 650 倍である [3]。PMMA-POF と PFGI-POF でディップ波長・温度依存性の依存性が大きく異なるのは、両者の構造・材料の違いから説明できる [2]。

コア径 50 μm および 120 μm の PFGI-POF についても同様の測定を行った結果、歪・温度依存係数はそれぞれ +3.42 pm/μm と -4.71 nm/°C、-8.21 pm/μm と +1.29 nm/°C であった。

### 4. まとめ

SMS 構造を用いて PFGI-POF 中の多モード干渉による歪・温度センサを構成することにより、コア径 62.5 μm のときに従来の PMMA-POF での値よりも約 50 倍高い歪感度と約 650 倍高い温度感度を実現した。また、50 μm、62.5 μm、

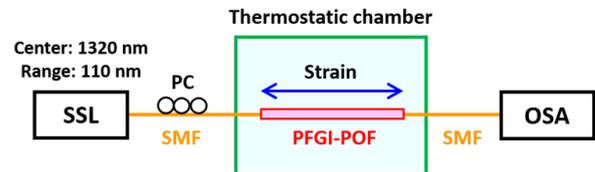


図 1. Schematic of experimental setup. OSA, optical spectrum analyser; PC, polarization controller; PFGI-POF, perfluorinated graded-index polymer optical fiber; SMF, single-mode fiber; SSL, swept-source laser.

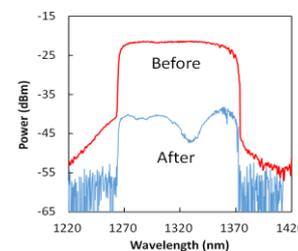


図 2. Measured optical spectra before and after transmission through the PFGI-POF.

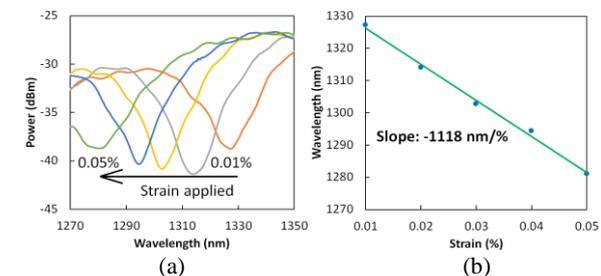


図 3. (a) Measured spectral dependence on strain. (b) Dip wavelength vs applied strain.

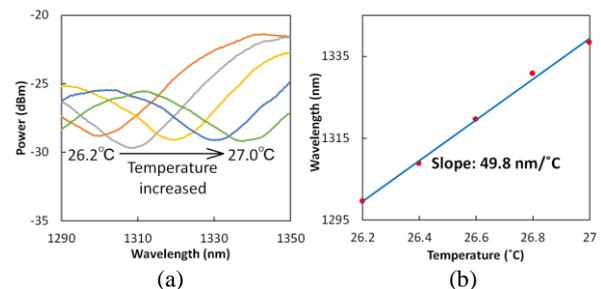


図 4. (a) Measured spectral dependence on temperature. (b) Dip wavelength vs temperature.

120 μm の全てのコア径において、歪と温度係数の符号は異なっていたが、これは高精度な歪・温度分離測定の実現可能性を示唆する [6]。

### 参考文献

- [1] Y. Liu, et al., *Appl. Opt.* **46**, 2516 (2007).
- [2] S. M. Tripathi, et al., *J. Lightw. Technol.* **27**, 2348 (2009).
- [3] J. Huang, et al., *Opt. Lett.* **37**, 4308 (2012).
- [4] Y. Mizuno, et al., *Appl. Phys. Lett.* **97**, 021103 (2010).
- [5] Y. Koike, et al., *NPG Asia Mater.* **1**, 22 (2009).
- [6] W. Zou, et al., *Opt. Express* **17**, 1248 (2009).