

# 全フッ素化プラスチック光ファイバ中の FBG の圧力依存性の解明

## Pressure dependence of FBG inscribed in perfluorinated plastic optical fiber

東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所 ○石川 諒、李 熙永、水野 洋輔、中村 健太郎

キプロス工科大学 電子工学専攻 Amedee Lacraz, Antreas Theodosiou, and Kyriacos Kalli

FIRST, IIR, Tokyo Tech ○Ryo Ishikawa, Heeyoung Lee, Yosuke Mizuno, and Kentaro Nakamura

EE, CUT Amedee Lacraz, Antreas Theodosiou, and Kyriacos Kalli

E-mail: rishikawa@sonic.pi.titech.ac.jp

### 1. はじめに

光ファイバ・ブラッグ・グレーティング (FBG) による圧力センシングは、世界中で精力的に研究されてきた。しかし、ガラス光ファイバ中の FBG では、圧力を歪に変換する工夫を施さない限り、高い圧力感度は得られなかった。例えば、シリカ単一モード光ファイバ (SMF) では、圧力感度 (中心波長変化量を中心波長で割った値) は約  $-2.0 \times 10^{-6}/\text{MPa}$  である [1]。そこで、柔軟性に富むプラスチック光ファイバ (POF) 中の FBG が注目を集めている。これまでに、アクリル POF に描画した FBG によって、シリカ SMF よりも高い圧力感度を実現できることが報告されている。例えば、アクリル SM-POF [2] では約  $163 \times 10^{-6}/\text{MPa}$ 、多モード微細構造 (MM-m) POF [3] では約  $64 \times 10^{-6}/\text{MPa}$  の圧力感度が得られている。これらの絶対値は、それぞれシリカ SMF の約 82 倍、約 32 倍であった。しかし、アクリル POF-FBG には、1550 nm の通信波長帯における光伝搬損失が非常に高い ( $> 100$  dB/m) という問題があった [4]。

この問題を解決すべく、近年、通信波長帯でも比較的低い光伝搬損失 (約 0.25 dB/m) を有する全フッ素化 (PFGI-) POF に FBG を描画する技術が開発された [4]。これまでに、PFGI-POF-FBG の歪、温度、湿度に対する依存性は報告されているが [4, 5]、圧力依存性は未解明であった。そこで、本研究では、PFGI-POF-FBG の圧力依存性を調査した。

### 2. 実験

全フッ素化ポリマーからなるコアとクラッド、および、ポリカーボネートからなる補強層を有する全長 1.3 m の PFGI-POF を用いた。コア径は  $50 \mu\text{m}$ 、クラッド径は  $70 \mu\text{m}$ 、外径 (補強層) は  $490 \mu\text{m}$  であった。この PFGI-POF の 2 mm の区間に、フェムト秒レーザーの照射によって FBG を描画した [4]。この FBG の圧力依存性を測定する実験を Fig. 1 に示す。広帯域光源 (ASE-1550-25, FiberLabs) の出力を、光サーキュレータを介して PFGI-POF に入射した。水圧発生装置を用いて、PFGI-POF 全長に対して 0.1 MPa (大気圧) から 0.5 MPa までの圧力を印加した。光スペクトルアナライザを用いて、PFGI-POF からの反射光のスペクトルを観測した。

まず、0.1 MPa から 0.5 MPa まで短時間 (数 10 秒) で加圧した際の FBG の反射スペクトルの変化を測定した。その結果、ブラッグ波長の変化は無視できるほど小さかった。しかし、0.5 MPa の圧力下で、反射スペクトルは時間とともに長波長側にシフトした (Fig. 2(a))。このとき、FBG の反射スペクトルのピークよりも鋭いディップを用いて測定を行った。ブラッグ波長の時間変化を Fig. 2 (b) に示す。ブラッグ波長は、時間とともに増加し、約 150 分後にはほぼ一定となった。ブラッグ波長の増加は従来の報告 [2, 3] と同様の傾向だが、数 10 分以上の時定数を持つブラッグ波長の変化が初観測された。これは、他の POF とは異なり、PFGI-POF が物性の異なる 2 種類のポリマー材料で構成されているためと考えられる。時定数を考慮しない (各圧力で一定になるまで時間をかけて測る場合の) ブラッグ波長の圧力依存性が線形であると仮定すると、その依存係数は単純計算で約  $1.3 \text{ nm}/\text{MPa}$  (光波長で割ると  $860 \times 10^{-6}/\text{MPa}$ ) であり、従来の POF の約 5 倍以上の値である。

次に、0.5 MPa の圧力を長時間 (180 分以上) 加えてブラッグ波長が一定になった後に、PFGI-POF-FBG の圧力依存性を短時間 (1 分程度) で再測定した。その結果を Fig. 3 に示す。圧力の低→高、高→低の向きに関わらず、圧力の増加に伴ってブラッグ波長はほぼ線形に減少した。その圧力依存係数は、約  $-0.13 \text{ nm}/\text{MPa}$  (光波長で割ると  $-84 \times 10^{-6}/\text{MPa}$ ) となった。この絶対値は、シリカ SMF の約 42 倍で、アクリル SM-POF と MM-mPOF のそれぞれ約 0.52 倍、約 1.3 倍であっ

た。また、依存性が負になるのは他の POF とは逆であった (シリカ SMF とは同様)。この原因は、圧力印加による変形が短時間では戻らないことと、長時間の圧力印加によって材料の異方性が緩和されたためと考えている [2, 3]。

以上の結果は、本 PFGI-POF-FBG の補強層を除去することにより、短時間で応答しかつ従来の POF-FBG よりも遥かに高感度な圧力センシングの実現可能性を示唆している。

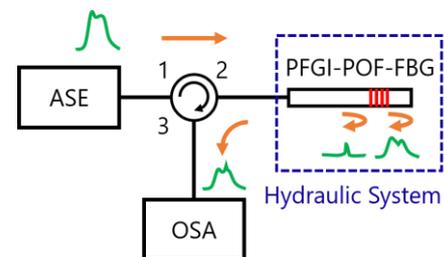


Fig. 1. Experimental setup. ASE: amplified spontaneous emission; OSA: optical spectrum analyzer.

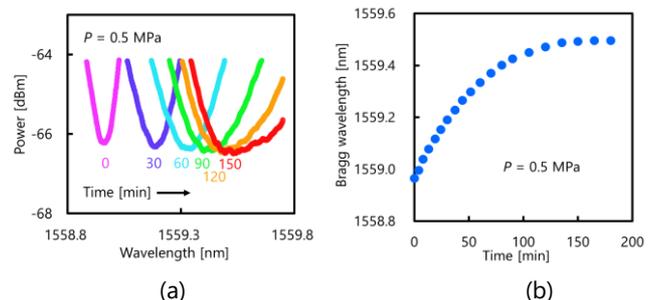


Fig. 2. (a) Temporal dependence of the FBG-reflected spectrum at 0.5 MPa. (b) Temporal dependence of the Bragg wavelength.

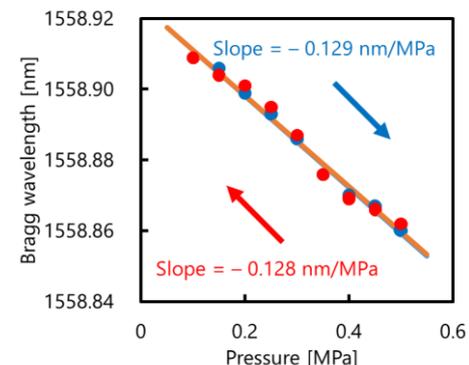


Fig. 3. Pressure dependence of the Bragg wavelength; measured after the PFGI-POF was kept at 0.5 MPa for 180 min.

### 参考文献

- [1] M. G. Xu et al, EL **29**, 398 (1993).
- [2] K. Bhowmik et al, JLT **33**, 2456 (2015).
- [3] I. P. Johnson et al, Proc. SPIE **8351**, 835106 (2012).
- [4] A. Lacraz et al, IEEE PTL **27**, 693 (2015).
- [5] P. Stajanca et al, Proc. SPIE **9899**, 989911 (2016).