プラスチック光ファイバ・ブラッグ・グレーティングの動作波長帯の劇的拡大 Drastically extended operating wavelength range of plastic optical fiber Bragg gratings 〇元石 直樹¹、野田 康平¹、李ひよん²、Antreas Theodosiou³、Kyriacos Kalli³、水野 洋輔¹、中村 健太郎¹ ¹東京工業大学 科学技術創成研究院 ²芝浦工業大学 工学部 ³キプロス工科大学 フォトニクス研究所

ON. Motoishi¹, K. Noda¹, H Lee², A. Theodosiou³, K. Kalli³, Y. Mizuno¹, and K. Nakamura¹ ¹Tokyo Institute of Technology ²Shibaura Institute of Technology ³Cyprus University of Technology

1. はじめに

1. はじめに 建造物の災害による損傷や経年劣化などを診断する技術 として、光ファイバ・ブラッグ・グレーディング(FBG)に よる歪センシングが注目されている。従来、FBG は、紫外 レーザ光照射により、専らガラス光ファイバ中に描画され てきたが[1]、数%の歪で破断してしまうという問題点があ った。一方、近年、フェムト秒レーザ光照射により、大きな 歪にも耐えられるプラスチック光ファイバ(POF)中への FBG の描画が可能になった。特に、全フッ素化 POF 中に描 画した FBG は、高い柔軟性に加え、通信波長帯における光 伝搬損失が比較的低いという利点を有することから、特に 有効であると考えられている[2、3]。 FBG は、光ファイバに周期的な屈折率変調(回折格子) を形成した構造であり、単一モード光ファイバ(SMF)に描 画した際は、ある特定の波長(ブラッグ波長)の光のみを選 択的に反射する。ここで、FBG を描画する際に は、使用が想定される波長帯からピッチを計算しておくな の濃淡のピッチに依存する。そこで、FBG を描画する際に に、使用が想定される波長帯からピッチを計算しておくな の事前設計が必須であった(例えば、反射スペクトルの スロープを用いた高速振動測定では、狭線幅レーザの発振 波長とブラッグ波長との差を綿密に調整する必要があった [1])。しかし、各応用に応じた異なる条件での FBG の描画 は、製造コスト増大の要因となっていた。 一方、POF を含む多モード光ファイバに描画した FBG は、 条行概モードに対応す去る海がのブラッグが決ちた日子

は、製造コスト増入の安心となうていた。 一方、POFを含む多モード光ファイバに描画した FBG は、 各伝搬モードに対応する複数のブラッグ波長を反射するため、FBG が動作する波長帯はある程度拡大することが知ら れている[2、3]。しかし、従来の多モード FBG では、その 波長帯は基本モードのブラッグ波長付近に限られており、

波技帯は基本モートのフラック波技行近に限られており、 各応用に応じて異なる条件で FBG を描画する必要性は変わ らないと考えられていた。 そこで、本研究では、全フッ素化 POF-FBG において、基 本モードの励起を抑えて高次モードの励起を促進すること により、反射スペクトルのあらゆる波長帯においてブラッ グ波長が現れ、任意の波長帯において歪測定が可能であることを実験的に示す。

2. 実験方法

全長 0.8 m の全フッ素化 POF に描画した FBG を用いた。 全長 0.8 m の 全ノッ素化 POF に 描画した FBG を 用いた。 この POF は三層構造(全フッ素化ポリマー(CYTOP®)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)であり、コア径は 50 µm、クラッド径は 70 µm、 補強層の外径は 490 µm である。2 mm の区間に、フェムト 秒レーザの照射によって FBG を 描画した[2]。この FBG の 反射スペクトルを電力 したったのの 実験系を Fig. 1 に示す。

まず パーコンティニューム光源の出力を、 SMF に より構成された光サーキュレータを介して POF-FBG に入射 し、反射光のスペクトルを光スペクトラムアナライザで観 し、反射光のスペクトルを光スペクトフムアナフィサで観 測した。その際、従来は基本モードが強く励振される条件 (SMF と POF との光結合)を模索し採用していたが[2,3]、 今回は基本モードが極力励振されない条件を採用した。

次に、POF-FBG に 0.4%までの歪を印加し、1200、 1300、 00、 1500 nm 付近において、反射スペクトルがどのよ 1400、 うに変化するかを調査した。

3. 実験結果

5. 天殿和木 まず、広い波長帯にわたって観測した反射スペクトルを Fig.2 に示す。全体的に波打っており、これらの小さなピー クーつーつが各高次モードに対応するブラッグ波長である と考えられる(紙面の都合により拡大図は省略)。なお、用 いた POF-FBG の基本モードに対応するブラッグ波長は、 1043 nm (回折次数 m = 6)、1248 nm (m = 5)、1560 nm (m = 4) であるが[3]、これらの波長において特に大きなピ ークは観測されなかった。

次に、POF-FBG に至を印加したときの、1200 nm、 1300 nm、 1400 nm、 1500 nm 付近のピークの変化を Fig. 3 に 示す。波長帯に関わらず、歪に対して長波長側にシフトし



Fig. 3. Strain dependencies of one of the Bragg wavelengths at (a)1200 nm, (b)1300 nm, (c)1400 nm, and (d)1500 nm.

た。なお、POF 中の FBG が描画されていない箇 所に歪を印加してもピークのシフトは生じな いことは確認済みであ る は、波長に比例, 3(向を示した(線形近似 のす線は、グラフの原 点付近を通過する)。同



Fig. 4. Wavelength dependence of strain sensitivity.

一波長帯でも各ピーク によって歪依存性がある程度異なることは知られているので、完全な線形とならなかったのは自然である。一般にFBG に ${ { ({ { ({ { (} { 1) } }) } が 印 加 さ れ た と き の 歪 感 度 <math> \Delta \lambda_B / \Delta \varepsilon } }$ は、

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\Delta\varepsilon} = \lambda_B \left(\frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial \varepsilon} + \frac{1}{\Lambda} \frac{\partial \Lambda}{\partial \varepsilon} \right) = \lambda_B \left(\frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial \varepsilon} + 1 \right)$$
(1)

で与えられる。ここで、全フッ素化 POF-FBG では、今回観 測した波長帯においては、屈折率の歪依存係数(∂n/∂ε)はほ ぼ一定であると知られている[3]ので、FBGの歪感度が波長

に比例したのは理論通りであるといえる。 以上より、高次モードを励起した全フッ素化 POF-FBG を 用いることで、任意の波長帯で歪測定が可能であることが 示された。本成果は、FBG の製造コストの低減に寄与する のみならず、FBG に対する従来の常識を覆すものである。

参考文献

[1] K. Raman, Fiber Bragg Gratings (Academic, SD, CA, 1999).

[2] A. Lacraz, et al., IEEE Photon. Technol. Lett. 27, 693 (2015).

[3] R. Ishikawa, et al, Jpn. J. Appl. Phys. 57, 038002 (2018).