ガラスおよびプラスチック光ファイバに描画した多モード FBG の動作波長帯の比較
Operating wavelength ranges of multimode FBGs inscribed in glass and plastic optical fibers

○元石直樹 [1,2]、野田康平 [1,2]、李ひよん [3]、Antreas Theodosiou[4]、Kyriacos Kalli[4]、中村健太郎 [1]、水野洋輔 [2]
[1] 東工大 未来研 [2] 横浜国大 工学研究院 [3] 芝浦工大 工学部 [4] キプロス工大 フォトニクス研
○N. Motoishi[1,2], K. Noda[1,2], H. Lee[3], A. Theodosiou[4], K. Kalli[4], K. Nakamura[1], and Y. Mizuno[2]
[1]Tokyo Inst. Technol. [2]Yokohama National Univ. [3]Shibaura Inst. Technol. [4]Cyprus Univ. Technol.
E-mails: {nmotoishi, knakamur}@sonic.pi.titech.ac.jp, mizuno-yosuke-rg@ynu.ac.jp

1. はじめに

光ファイバ・ブラッグ・グレーティング（FBG）を用いた歪センシングは、建造物の災害による損傷や経年劣化などをモニタリングする技術として、精力的に研究されている。FBG とは、光ファイバのコアの長手方向に周期的な屈折率変調を形成した構造であり、広帯域光を入射すると特定の波長（ブラッグ波長）の光のみを強く反射する。FBG を描画する光ファイバは、シリカガラス光ファイバが一般的であった。しかし近年、プラスチック光ファイバ（POF）に FBG を描画できるようになり、大きな歪のセンシングなどに利用されている[1]。

また、単一モード光ファイバ（SMF）に描画した FBG とは異なり、POF を含む多モード光ファイバ（MMF）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の光を反射するため、FBG が動作する波長帯は、基本伝搬モードのブラッグ波長付近である程度の範囲を有することが知られている[2]。さらに、我々は最近、光ファイバ内の基本伝搬モードの励起を抑えて高次伝搬モードの励起を促進することにより、POF-FBG の動作波長帯を任意の帯域まで拡大できることを実証した[3,4]。しかし、ガラス製の MMF に描画した FBG でも同様に動作波長帯の拡大が可能であるのかは未解明であった。

そこで本研究では、伝搬モード励起状態を制御することで FBG の動作波長帯を拡大できるという性質が、POF-FBG 特有のものであるのか、ガラス MMF-FBG でも観測されるのかを実験的に検証した。その結果、ガラス MMF-FBG の場合は、高次伝搬モードの励起を促進しても動作波長帯は 5 nm 程度に限られており、上記は POF-FBG 特有の性質であることが明らかになった。

2. 実験方法

全長 1.2 m、コア径 50 μm、クラッド径 125 μm のシリカガラス製の屈折率傾斜型 MMF に、位相マスク法を用いて FBG を描画した。FBG の長さは 2 mm（MMF 中央; これまで用いてきた POF-FBG と同じ長さ）とし、その他の描画条件は、ブラッグ波長が 1550 nm 付近となるよう設定した。

このガラス MMF-FBG の反射スペクトルを観測し、その歪依存性を測定するための実験系を Fig. 1 に示す。スーパーコンティニューム光源から出力された超広帯域光を、SMF により構成された光サーキュレータを介してガラス MMF-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測した。その際、高次伝搬モードが極力励振されないよう調整した場合と、高次伝搬モードが極力励振されるよう調整（SMF と MMF 間での軸ズレの意図的付与、および、MMF への曲げ印加による高次伝搬モードの誘起）した場合、それぞれの反射光スペクトルを観測した。次に、高次伝搬モードが極力励振されるよう調整した状態で、ガラス MMF-FBG に 0.4%までの歪を印加し、複数のピークがどのように変化するかを調査した。

3. 実験結果と考察

まず、高次伝搬モードが極力励振されないよう調整した場合の反射スペクトルを Fig. 2(a)に示す。基本伝搬モードに対応する単一の反射ピークが明瞭に観測された。一方、高次伝搬モードが極力励振されるよう調整した場合の反射スペクトルを Fig. 2(b)に示す。基本モードのピーク付近に、高次伝搬モードに対応すると思われる 6 つの比較的明瞭なピークが現れた（この条件では、複数のピークは全て基本伝搬モードよりも短波長帯に現れたが、高次伝搬モードの励起条件によっては一部のピークが長波長帯に観測される場合もあった）。

次に、これら複数のピークの歪依存性の調査結果を Fig. 3(a)に示す。ガラス MMF-FBG に 0%から 0.4%の歪を印加したところ、全てのピークが長波長側にシフトした。また、各ピークの中心波長の歪依存性をプロットした結果を Fig. 3(b)に示す。各ピーク波長は歪に対して長波長側に線形にシフトしており、その依存係数は全て 9.25 nm/% 程度（誤差±2.5%未満）であった。この結果から、基本伝搬モードの反射ピーク以外に現れた複数のピークが、各高次伝搬モードに対応していることが確認された（もし歪依存係数が各ピークで大きく異なっていた場合、一部のピークがモード間干渉に起因している可能性もあった）。また、ガラス MMF-FBG の動作波長帯は、5 nm 程度の範囲に限定されることも明らかになった。

以上の結果から、MMF 中に描画した FBG において、基本伝搬モードの励起を抑えて高次伝搬モードの励起を促進することで FBG の動作波長帯を劇的に拡大できるのは、POF 特有の性質であることが実証された。これは、POF の製造技術がガラス光ファイバほど成熟しておらず、内部構造の均一性が比較的低いため、高次伝搬モードが誘起されやすいことが一因であると考えられる。

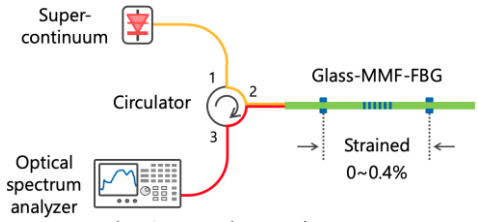

Fig. 1. Experimental setup.

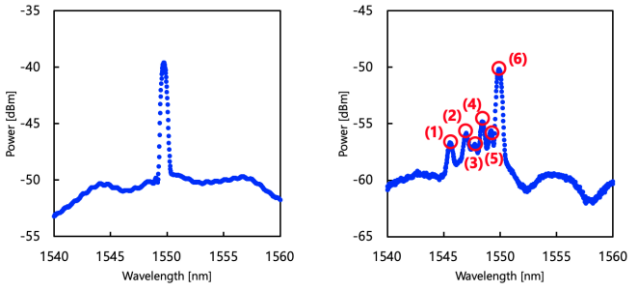

Fig. 2. FBG-reflected spectra observed when the excitation of the fundamental mode was (a) promoted and (b) suppressed. In (b), clear peaks (1)–(6) were observed.

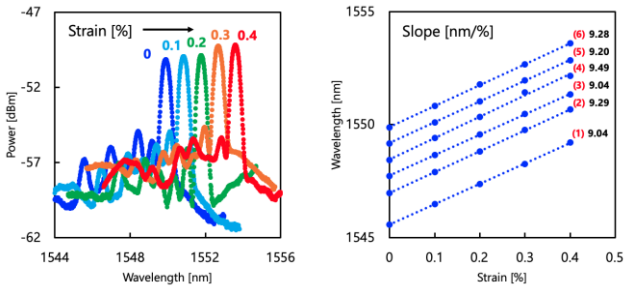

Fig. 3. (a) Measured strain dependence of FBG-reflected spectrum with higher-order peaks. (b) Strain dependencies of central wavelengths of higher-order peaks (1)–(6). The dotted lines are linear fits.

参考文献

[1] A. Lacraz, *et al.*, IEEE Photon. Technol. Lett. **27**, 693 (2015).
[2] R. Ishikawa, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 038002 (2018).
[3] 元石ほか, 2020 年春応物, 12p-B406-8.
[4] 元石ほか, 2020 年秋応物, 8p-z16-8.

© 2021年 応用物理学会