

プラスチック光ファイバ・ブラッグ・グレーティングを用いた任意波長帯での振動測定 Vibration sensing using plastic optical fiber Bragg gratings at arbitrary wavelengths

○元石直樹^{1,2}、野田康平^{1,2}、李ひよん³、Antreas Theodosiou⁴、Kyriacos Kalli⁴、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

ON. Motoishi^{1,2}, K. Noda^{1,2}, H Lee³, A. Theodosiou⁴, K. Kalli⁴, K. Nakamura¹, and Y. Mizuno²

¹Tokyo Inst. Technol. ²Yokohama National Univ. ³Shibaura Inst. Technol. ⁴Cyprus Univ. Technol.

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広く検討されている。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、光を入射すると、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。ブラッグ波長は、屈折率およびその濃淡のピッチに依存するので、反射スペクトルのブラッグ波長を観測することで、FBG に加わる歪や熱などを測定することができる。

従来、FBG は、紫外レーザー照射により、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、フェムト秒レーザー照射により、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、特に注目を集めている[2,3]。

FBG を用いた動的な歪 (振動) の測定法として、反射スペクトルのスロープの光パワーの増減を狭線幅レーザーにより測定する手法が知られている。この手法は、ブラッグ波長の変化を光パワーの変化として高速に測定できる。しかし、反射スペクトルのスロープに狭線幅レーザーの発振波長を合わせるために、ブラッグ波長を精密に調整するなどの事前設計が必要であり、コスト増大の要因となっていた。

ここで、POF を含む多モード光ファイバに描画した FBG は、ガラス光ファイバなどの単モード光ファイバと異なり、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]。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いた。しかし、我々は最近、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、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[4]。

そこで、本研究では、POF-FBG を用いた任意の波長帯における高速振動センサの性能を検討すべく、反射スペクトルの線形区間の範囲 (歪ダイナミックレンジに關係) と傾き (歪感度に關係) の波長依存性を調査した。

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。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 であった。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[2]。この FBG の反射スペクトルを観測するための実験系を Fig. 1 に示す。

まず、スー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測した。その際、基本モードが極力励振されないよう調整した。また、線形区間の範囲は、Fig. 2(a)(b) に示すように、微分値の絶対値が最大値の 20% 減となる

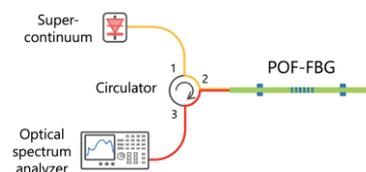


Fig. 1. Experimental setup.

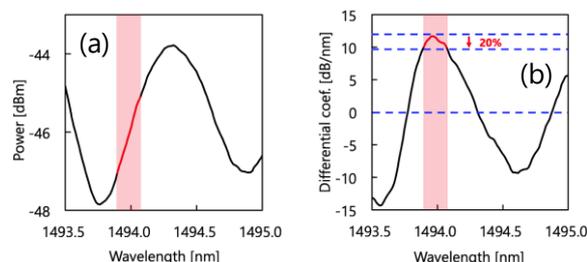


Fig. 2. (a) Reflection spectrum and (b) its differential coefficient at each wavelength. The linear region of the positive slope is highlighted.

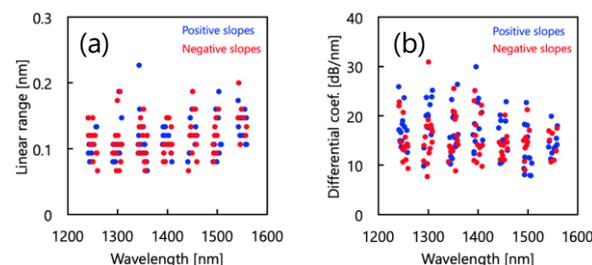


Fig. 3. (a) Linear range and (b) differential coefficient of the slope of the reflection spectrum at each wavelength.

までの範囲と定義した。

3. 実験結果と考察

まず、1250 nm から 1550 nm の範囲で、50 nm おきにスパン 20 nm で反射スペクトルを観測し、その線形区間の範囲 (歪ダイナミックレンジに關係) を波長に対してプロットした (Fig. 3(a))。線形範囲は波長に対して明瞭な依存性を示さず、80–100 μe 程度の歪が印加されたときのスペクトルシフトに相当することが明らかになった。なお、振動測定では線形範囲の中心にレーザーの波長を合わせるため、許容される振動の 0-p 振幅はこの半分となる。次に、各線形区間の傾きの絶対値 (歪感度に關係) を波長に対してプロットした (Fig. 3(b))。傾きの絶対値も波長に対する明瞭な依存性を示さなかった。波長帯による線形範囲やその傾きのばらつきは、各モードによって反射光パワーが異なること、および、それらの重なりを考慮すれば自然である。

この振動測定法の歪感度は、線形区間の傾きと、一定の歪に対するスペクトルのシフト量の積で与えられる。一方、歪ダイナミックレンジは、線形範囲 ÷ 歪感度で与えられる。線形範囲および線形区間の傾きは波長に明瞭な依存性を示さないこと、スペクトルシフト量は長波長帯ほど大きいこと[4]を踏まえると、次の結論を得る。すなわち、光源の波長を選択可能である場合、歪感度と歪ダイナミックレンジのうち、前者を優先する場合には長波長帯を、後者を優先する場合には短波長帯を、それぞれ使用するべきであるといえる。発表当日は、可能であれば、狭線幅レーザーを用いて任意の波長帯で高速振動測定を実証した結果を報告する予定である。

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).
- [4] 元石ほか, 2020 年春応物, 12p-B406-8.