マルチコア FBG と Si-APD 二光子吸収応答利用距離計測による 3 次元曲げセンシング

Three-dimensional curvature sensing based on multicore FBG and distance measurement using two-photon absorption response in Si-APD

東京農工大，°園田 直弘，阿部 哲也，田中 洋介

Tokyo Univ. of Agri. and Tech., °Naohiro Sonoda, Tetsuya Abe, Yosuke Tanaka

E-mail: tyosuke@cc.tuat.ac.jp

1.はじめに

曲げ計測は、産業用ロボットアーム、橋梁、ビル、船舶、航空機等の構造物のヘルスモニタリングや、医療用カテーテルの形状測定など様々な分野への応用が考えられる重要な技術の一つである。光ファイバを用いた曲げ計測は電磁波の影響の授受がなく、機械的にも細径、軽量、柔軟なことから、その発展が期待されている。

多くの手法が報告されている中、マルチコア光ファイバにグレーティング加工を施した MCFBG を用いた手法は、シンプルな構成で正確な曲げ計測ができるものとして期待されている。MCFBG に加わる曲げはマルチコア光ファイバの各コアで異なる引っ張り歪みを与えるため、各コアに加工された FBG の反射スペクトルシフト量も異なる。これらのスペクトルシフトから、曲げの大きさと向きが計測できる。一方、一般に MCFBG 各コアの FBG 反射スペクトルは曲げの有無に依らず重なりを持つため、反射光を一括測定すると反射スペクトルの識別が難しくなる。

本研究では、受光素子の二光子吸収応答を利用した FBG 反射点とスペクトル一括測定手法[1] により、入射光側のファイバとマルチコア光ファイバの各コアとを順次つなぎかえることなく、各コアからの反射スペクトルを分離測定し曲げセンシングを実現したので報告する。

2.実験系と測定原理

Fig.1 に反射点距離、スペクトルの一括取得による MCFBG の曲げ計測の実験系を示す。プローブ光源 LD1 の波長は 1546～1550 nm の範囲で掃引する。参照光源 LD2 の波長は 1552 nm である。LD1,LD2 からの出射光には周波数f_m=1～3GHz の範囲で強度変調を加える。また、LD1 には同期検波用に 20 kHz で変調を加える。プローブ光はシングルモード光ファイバを伝搬し、スプリッタで分岐し、ファンイン/アウトを介してマルチコア光ファイバの各コアに入射する。ここで、スプリッタとファンイン/アウト間の各光路長は互いに異なるようにした。

各コアの FBG で反射したプローブ光は、カプラで参照光と合波された後、Si-APD にレンズで集光されて入射する。Si-APD では波長 1.5 μm 帯の高強度レーザ光による二光子吸収応答により、入射する光強度の 2 乗平均に比例する光電流が発生するため、強度相関が計測できる。Si-APD の光電流を同時検波すると、以下の信号が検出される[1]。

$$i_{LIA} = const + \beta \sum_{j=1}^{N} I_{p,j} \cos(2\pi f_m \frac{n\Delta L_j}{c})$$

ただし、βは比例定数、$I_{p,j}$はプローブ反射光強度、nは屈折率、ΔL_jは i 番目のコアを通るプローブ光と参照光の伝搬距離差である。強度変調周波数f_mを掃引し、得られた信号のフーリエスペクトルのピークから距離差ΔL_jが求められる。一方、各コア FBG に対応するフーリエスペクトルピークの値は、FBG 反射光強度に比例するため、プローブ光波長をずらしながら距離計測を繰り返すことで、FBG 反射スペクトルが得られ、距離の違いからそれらを分離測定できる。

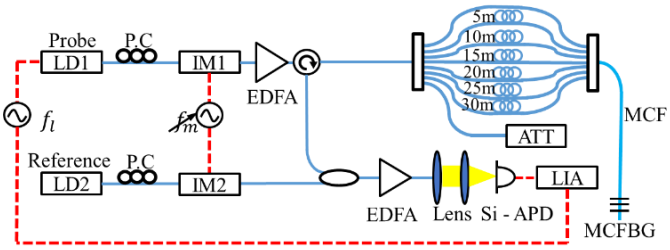

Fig.1 Experimental setup of curvature measurement.

3.実験結果

Fig.2 に MCFBG に曲げを加えなかった場合と曲率半径 3 cm で曲げた時について測定した各コアの FBG 反射スペクトルを示す。曲げの無い時に各コアの反射スペクトルがほぼ同じであるのに対し、曲げを加えることで各 FBG において異なる波長シフトが確認された。また、波長シフトから計算された曲げ半径は 2.95 cm で実際の曲げとよく一致していた。

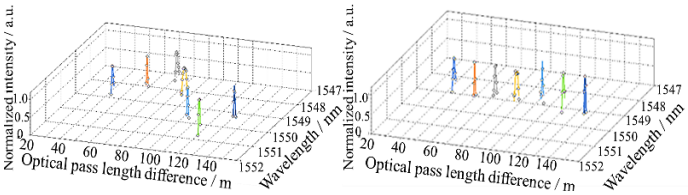

Fig.2 Reflection spectra of 7 FBGs in MCFBG (a) without or (b)with bending, where the bending radius is 3cm.

4.まとめ

Si-APD 二光子吸収応答を利用した距離・スペクトル一括測定手法により、MCFBG の各コアの反射スペクトルをそれぞれ分離測定し、曲げ計測をすることに成功した。

5.謝辞

本研究は JSPS 科研費(JP16H04374, JP18K18852)の助成を受けた。

6.参考文献

[1]Y. Tanaka, H. Miyazawa, *J. Lightwave Technol.*, 36, 1032-1038 (2017).