

プラスチック光ファイバを用いたブリルアン光相関領域反射計の簡素化

Simplified Brillouin optical correlation-domain reflectometry using plastic optical fiber

東京工業大学 精密工学研究所 ○林 寧生 水野 洋輔 中村 健太郎

P. & I. Lab., Tokyo Tech ○Neisei Hayashi, Yosuke Mizuno, and Kentaro Nakamura

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

1. はじめに

近年、光ファイバ中のブリルアン散乱を用いた歪・温度分布計測に関する研究が精力的に推進されている。分布測定手法は、時間領域法・周波数領域法・相関領域法に大別され、その中でも片端光入射型の「ブリルアン光相関領域反射計(BOCDR)」は実験系が最も簡便であることで知られる[1,2]。

これまでに我々は、フレネル反射光を参照光として利用することで独立した参照光路をもたない、より簡便な BOCDR (S-BOCDR)を開発した[3,4]。S-BOCDRの構成は、被測定ファイバ(FUT)端からフレネル反射を得る構成(S-BOCDR-1)[3]と、手前に人工的な部分反射点を設ける構成(S-BOCDR-2)[4]がある。S-BOCDR-2の方が、FUTが途中で破断してもその点までは測定できるため、S-BOCDR-1よりも実用的である。しかし、S-BOCDR-2には次の2つの欠点があった。即ち、(i) ストークス光が部分反射点(エアギャップで構成)を通過することで揺らぎ、参照光とのビート信号が不安定であった。また、(ii) 測定時のノイズとなる0次光相関ピークの回避のために、ブリルアン周波数シフト(BFS)がFUTと異なるファイバを用意する必要があった。

本発表では、プラスチック光ファイバ(POF)をFUTとして使用することにより、これらの問題を解決したので報告する。

2. 提案

(i) に対しては、POFとシリカ単一モードファイバ(SMF)をSCコネクタで突合せ接合することで解決する。エアギャップを用いないため、ストークス光が安定する。POFとシリカSMFのコア屈折率は異なる(それぞれ1.35および1.46)ため、フレネル反射が生じ、これを参照光として用いることができる。(ii)に対しては、POFのBFSホッピング現象[5]—POFに大歪(<60%)を印加するだけでBFSを高周波数側に数100MHz急激にシフトさせることができる現象—を用いて解決する。よって、BFSの異なるファイバを用意する必要がない。

3. 実験系

実験系を図1(a)に示す。レーザの出力を増幅した後、FUTに入射する。POF中で生じた後方散乱ストークス光とシリカSMFとPOFの接合部で生じるフレネル反射光(参照光)を合波し、そのビート信号を受光器で電気信号に変換し、電気スペクトルアナライザでブリルアン利得スペクトル(BGS)として観測した。ストークス光と参照光の相対的な偏波状態は最適化した。レーザの駆動電流に正弦波変調を印加することでPOF中に「相関ピーク」を形成し、これをPOFに沿って掃引することで分布測定を行った[1,2]。

FUTとしては、全長3.39mの全フッ素化屈折率傾斜型POFを用いた。コア径は50 μm 、クラッド径は70 μm 、1.55 μm 帯での伝搬損失は約250dB/kmであった。FUTの構成を図1(b)に示す。FUTの一端はシリカSMFと突合せ接続し、もう一端はフレネル反射を抑制するために斜めに切断した。等光路点の0次相関ピークを抑制するために、接続部周辺のPOFの一部(0.32m)を0.51mに延伸した。分布測定を実証するために、変調周波数を31.0366–62.0732MHz、変調振幅を1.33GHzとし、測定レンジは4.2m、理論空間分解能は42–84mm(測定位置に依存[3,4])とした。全長3.58mのPOF中の延伸部から2.15mから2.61mにかけて(開放端からの距離 $l=0.46\text{m}$ から0.92mにかけて)の0.46mの区間を昇温させた($\leq 70^\circ\text{C}$)。室温は24 $^\circ\text{C}$ に保った。

4. 実験結果

はじめに、BFSホッピング現象が生じたことを確認するためにFUTの全長から生じるブリルアン散乱光を測定した(図2)。2つのピークが観測され、そのうち最大のピーク値を1として規格化した。一方のピークのBFSは約2.79GHzであったが、これは延伸していない区間からの寄与である。もう一方のピークのBFSは約3.11GHzであった。これは、延伸した区間からの寄与である。よって、POFの一部分にBFSホッピング現象が生じていることが確認できた。

次に、POFを用いたS-BOCDR-2による温度分布測定を実証した。POFの一部を60 $^\circ\text{C}$ に昇温したときのBGSの分布測定結果、および、24 $^\circ\text{C}$ から70 $^\circ\text{C}$ まで温度を変化させた時のBFSの分布測定結果をそれぞれ図3(a)および(b)に示す。図3(a)に示すように、温度分布を明瞭に観測することに成功した。また、図3(b)より算出した温度依存係数は-3.2MHz/Kであり、従来の報告値にほぼ一致した[6]。また、室温時の測定区間中のBFSの変動の標準偏差は約 $\pm 3.0\text{MHz}$ であり、これを歪と温度の変動に換算すると $\pm 0.02\%$ および $\pm 0.9^\circ\text{C}$ となった。

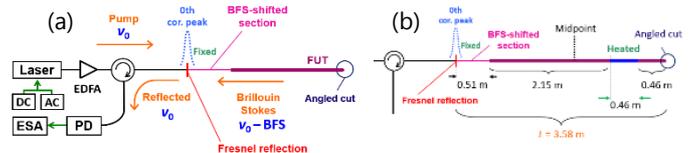


図1. (a) Experimental setup of S-BOCDR-2 using a POF. (b) Structure of the FUT.

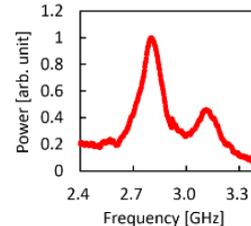


図2. Measured BGS in the whole length of the FUT.

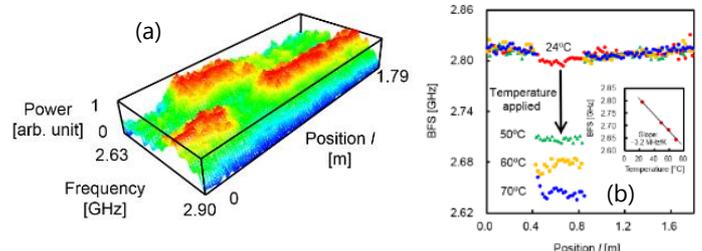


図3. (a) Measured BGS distribution when the FUT was locally heated to 60 $^\circ\text{C}$. (b) Measured BFS distributions when the FUT was locally heated to 24, 50, 60, and 70 $^\circ\text{C}$. The inset shows the measured BFS dependence on the temperature change.

参考文献

- [1] Y. Mizuno *et al.*, *Opt. Express* **16**, 12148 (2008)
- [2] Y. Mizuno *et al.*, *Opt. Commun.* **283**, 2438 (2012).
- [3] N. Hayashi *et al.*, *IEEE Photon. J.* **6**, 6802807 (2014).
- [4] N. Hayashi *et al.*, *IEEE Photon. J.* **6**, 6803108 (2014).
- [5] N. Hayashi *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **105**, 091113 (2014).
- [6] K. Minakawa *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **53**, 042502 (2014).