18a-C7-8

プラスチック光ファイバ中のブリルアン周波数シフトホッピング

Brillouin frequency shift hopping in plastic optical fibers

東京工業大学　精密工学研究所　○林 寧生　皆川 和成　水野 洋輔　中村 健太郎
P. & I. Lab., Tokyo Tech　○Neisei Hayashi, Kazunari Minakawa, Yosuke Mizuno, and Kentaro Nakamura
E-mail: hayashi@sonic.pi.titech.ac.jp

1. はじめに

全フッ素化屈折率傾斜型（PFGI-）プラスチック光ファイバ（POF）中のブリルアン散乱を用いた分布型歪・温度センサは、高い柔軟性・低コスト・高い温度感度・メモリ効果等の利点を有するため、精力的に研究が推進されている。近年、我々はブリルアン利得スペクトル（BGS）の大きな歪に対する依存性を調査し、約 10%以上の歪を印加した際の散乱光パワーの急激な減少を観測した（約 20%の歪で消失）[1]。これは歪印加による光損失の増加に起因すると考察したが、光損失より算出されるブリルアン有効長の減少は 30%程度であり、散乱光パワーの急激な減少の定量的説明は困難であった。

そこで本発表では、最大 60%の巨大な歪に対する POF 中の BGS の依存性を詳細に調査し、「ブリルアン周波数シフト（BFS）ホッピング現象」の存在、および、この現象により散乱光パワーの減衰が説明できることを明らかにした。また、巨大歪を印加し塑性変形させた POF 中のブリルアン散乱には、従来よりも歪に依存しにくく高精度な温度センサへの応用可能性があることを示した。

2. 実験系

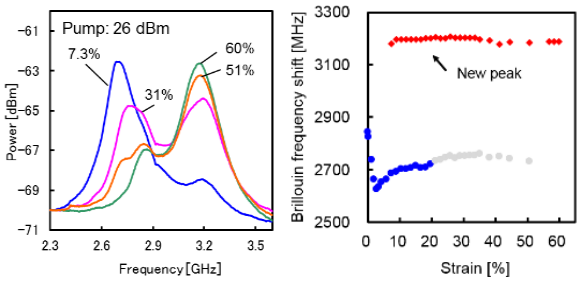
長さ 0.6 m の PFGI-POF を被測定ファイバとして用いた。コア径は 50 μm、クラッド径は 70 μm、外径は 500 μm、1.55 μm 帯での伝搬損失は約 250 dB/km であった。実験系は、フレネル反射光を参照光として用いたヘテロダイン系とした。POF への歪印加には自動ステージを用いた。室温は 20℃ であった。

3. 実験結果

まず、BGS の大歪依存性を図 1(a)に示す。ポンプ光パワーは 26 dBm、引張速度は 200 μm/s とした。従来の報告[1]と同様に、印加歪が 0%のとき BGS のピーク周波数（BFS）は 2.85 GHz にあり、0–2.3%の範囲では低周波側にシフトし、2.3%以上の範囲では高周波数側にシフトした。また、10%以上の歪印加時には 2.8 GHz 付近における散乱光パワーは徐々に減衰した。新たに観測された事実として、7.3%以上の歪を印加すると、3.2 GHz 付近に新たなピークが出現し、印加歪の増加に伴いそのパワーは増加した。印加歪が 31%のとき 2 つのブリルアン信号のピークのパワーは同程度となり、60%では元のピークは完全に消失した。なお、2.85 GHz に常に存在する比較的小さいピークは、歪が印加されていない入射端側の部分（6 cm）からの散乱信号であり、本質的ではない。2.8 GHz および 3.2 GHz 付近の 2 つのピークについて、BFS の大歪依存性を図 1(b)に示す。元のピークは従来の報告[1]と同様の非線形な依存性を示した。なお、印加歪が 20%以上である場合は 2.85 GHz の小さなピークの裾野に埋もれてしまうため、BFS を正確に測定するのは困難であった。一方、3.2 GHz 付近の新たなピークの BFS は、歪依存性をほとんど示さなかった。

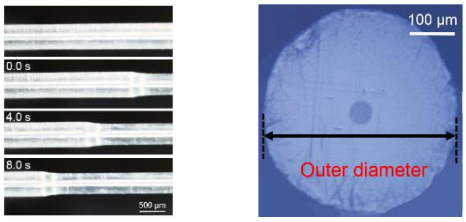
次に、200 μm/s で約 7.3%の歪を印加しているときの POF の側面の写真を図 2(a)に示す。段状に細くなった部分が観測された。この細径部では、コア構造の変化に伴い音速が高くなり、BFS が 3.2 GHz 程度に急峻に変化した（「BFS ホッピング」と名付けた）。印加歪を増加に伴い、その細径部は POF に沿って拡張し、60%の歪印加により POF 全体が細径となった。その際、細径部の外径はほぼ一定に保たれていた。これが、新しいピークの BFS が歪に依存せず、そのパワーのみが歪に依存する理由である。細径部の断面写真を図 2(b)に示す。外径の変化から、細径部のコア径は歪を印加しない場合の約 0.85 倍になっていると推定された。

最後に、60%の歪を印加した後に歪を開放したところ、塑性変形によって POF の全長は細径のまま保たれた。その POF に対して改めて BFS の歪・温度依存性を測定したのが図 3(a)および (b)である。歪・温度依存性はともに線形であり、その係数はそれぞれ−65.6 MHz/%、−4.04 MHz/K であった。これらの値は、従来の PFGI-POF における報告値の約 0.5 倍[2]、約 1.3 倍[3]であった。従って、細径となった POF 中のブリルアン散乱を用いることで、歪に依存しにくい高精度な温度センシングという POF の特徴的価値をより高めることができる。



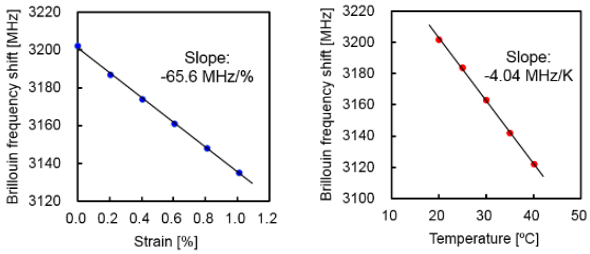
(a)　(b)

図 1. Measured dependences on large strain in POF; (a) BGS and (b) BFS.



(a)　(b)

図 2. Micrographs of slimmed-down POF; (a) side view and (b) cross-sectional view.



(a)　(b)

図 3. Measured BFS dependences on (a) strain and (b) temperature in the slimmed-down POF.

参考文献

[1] N. Hayashi *et al.*, *Opt. Express* **20**, 21101 (2012).
[2] K. Minakawa *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **53**, 042502 (2014).
[3] Y. Mizuno *et al.*, *Opt. Lett.* **35**, 3985 (2010).

© 2014 年　応用物理学会