

テーパー加工したプラスチック光ファイバ中のブリルアン散乱の観測 Observation of Brillouin scattering in tapered plastic optical fiber

東京工業大学 精密工学研究所 ○林 寧生 福田 英幸 水野 洋輔 中村 健太郎

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

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

1. はじめに

光ファイバ中のブリルアン散乱は、レーザや光増幅器、歪・温度分布センサなど、多様なデバイスに応用されている[1,2]。近年、テーパー加工した単一モードのシリカファイバ中のブリルアン散乱が観測され、加工部(ウエスト径: 5 μm)のブリルアン周波数シフト(BFS)は加工を施していない部分の BFS よりも 270 MHz 高周波側にシフトすることが報告された[3]。このシフト量は、テーパー条件で制御可能であり、上記デバイスの開発に新たな自由度を与える。

一方、高い柔軟性(耐歪: ~50 %)[4]を有するプラスチック光ファイバ(POF)のテーパーにも、様々な応用が提案されている[5,6]。しかし、テーパー加工していない POF 中のブリルアン散乱特性はすでに解明されているが[7]、テーパー加工した POF 中のブリルアン散乱特性は未解明である。そこで本研究では、熱延伸によりテーパー加工した POF 中のブリルアン散乱を初めて観測し、その特性を調査した。

2. 実験系

テーパー加工する POF は、長さが 1.0 m の全フッ素化屈折率傾斜型 POF とした。コア/外径は 120/490 μm 、伝搬損失は 1.55 μm 帯で約 250 dB/km、コアとクラッドは全フッ素化ポリマー、補強層はポリカーボネートであった。コア・クラッドと補強層のガラス転移温度は異なる(各々<108°C および 144°C)が、補強層が薄いため、熱延伸によるテーパー加工は有効である。

テーパー加工のための実験系を図 1 に示す。長さ 80 mm の U 字型の治具をヒーター上に固定した。POF の一端は 1.55 μm 帯の光源に接続し、もう一端は光パワーメータに接続した。また、POF の 2 箇所をクランプで固定した。

テーパー加工した POF 中のブリルアン散乱は、自己ヘテロダイン検波[7]を用いて観測した。その際、偏波は偏波コントローラで最適化した。

3. 実験結果

POF のテーパー加工時、治具の温度および引張速度は各々約 105°C および約 0.2 mm/s に設定した。所要時間は約 9 分であった。図 2(a)にテーパー加工した POF の模式図と各部の顕微鏡写真を示す。ウエスト部の外径は 223 μm 、延伸長は 102 mm、伝搬損失を除いたテーパー部の損失は約 0.8 dB であった。

次に、ブリルアン散乱の観測のため、ウエスト部を含むように POF を長さ 121 mm に切断した(切断箇所は、図 2(a)の赤線)。顕微鏡で測定した外径の分布を図 2(b)に示す。

観測した POF 中のブリルアン利得スペクトラム(BGS)を図 3(a)に示す。比較対象として、テーパー加工していない同じ長さの POF の BGS も示した。テーパー加工によるコアの光パワー密度増大のため、ストークスパワーが増強された。一方、BFS は低周波側に約 40 MHz シフトした。テーパー加工したシリカファイバ中のシフト量(270 MHz)[3]と比較すると、逆符号かつ絶対値が小さかった。

最後に、テーパー加工により BFS がシフトする原因を調査した。テーパー加工では温度変化と引張を同時に付与するが、ここではテーパー加工していない POF に温度変化のみを与え、BFS の変化を測定した(図 3(b))。条件は、測定した順番に、(i) 室温 (15°C)、(ii) 112°C (加熱時間: 5 分間)、(iii) 室温 (15°C) (加熱時間: 5 分間)、とした。各条件下で、BFS は、(i) 2.84 GHz、(ii) 2.53 GHz、(iii) 2.76 GHz であった。(i)と(iii)を比較すると BFS は低周波側に約 80 MHz シフトしている。つまり、テーパー加工時に生じた BFS の変化は、引張過程ではなくコアのガラス転移温度付近の高温環境により生じていると考えられる。これは、ポリマーの熱変形やコア内のドーパントの拡散に起因していると考えられる。しかし、テーパー加工した POF 中の BFS の変化量と比較し

て 2 倍程度大きいことから、引張による機械的変形にも影響を受ける可能性は残っている。

以上の結果から、テーパー加工により POF 中のブリルアン散乱を増強できる可能性、そして、温度・引張の両条件で BFS を制御できる可能性が示された。さらに、POF を高温環境に置くことで BFS が不可逆的に変化する現象は、「歪メモリ効果」[8]と並ぶ新機能「温度メモリ効果」の基本原理になると期待できる。

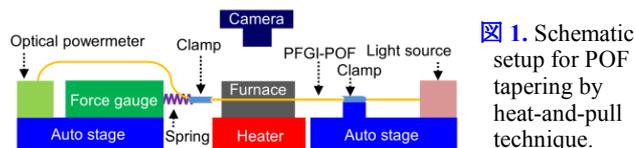


図 1. Schematic setup for POF tapering by heat-and-pull technique.

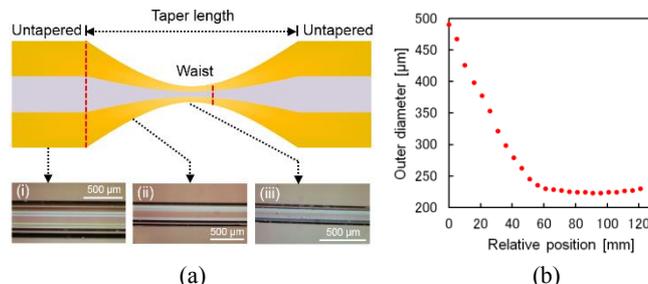


図 2. (a) Schematic structure of the tapered POF, along with the photographs of (i) untapered, (ii) intermediate, and (iii) waist zones. The red dotted lines indicate the positions at which the sample was cut for Brillouin measurement. (b) Measured outer diameter as a function of relative position along the tapered POF.

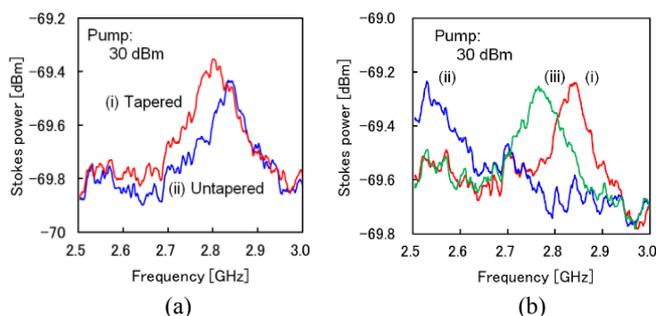


図 3. (a) Measured BGSs in POFs: (i) tapered and (ii) untapered. (b) Measured BGSs in POF: (i) at room temperature (15°C), before heating; (ii) heated at 112°C, kept for 5 min; and (iii) cooled at room temperature (15°C), kept for 5 min.

参考文献

- [1] G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics* (AP, CA, 1995).
- [2] T. Horiguchi et al., *J. Lightwave Technol.* **7**, 1170 (1989).
- [3] W. Zou et al., *Opt. Express* **21**, 6497 (2013).
- [4] M. G. Kuzyk, *Polymer Fiber Optics: Materials, Physics, and Applications* (CRC Press, 2006).
- [5] R. Gravina et al., *Sensors* **9**, 10423 (2009).
- [6] C. Pulido et al., *Sens. Actuat. B Chem.* **157**, 560 (2011).
- [7] Y. Mizuno et al., *Appl. Phys. Lett.* **97**, 02113 (2010).
- [8] K. Nakamura et al., *Proc. SPIE* **5855**, 807 (2005).