

プラスチック光ファイバ中の誘導ブリルアン散乱特性の評価 Investigation of stimulated Brillouin properties in plastic optical fibers

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、多様化する構造物の安全性を監視する計測技術として、光ファイバ中のブリルアン散乱[1]を用いた分布型歪・温度センサの開発が進んでいる。従来、センシングヘッドには専らシリカを中心とするガラス光ファイバが用いられてきたが、数%の歪で破断してしまうという問題があった。そこで我々は、数 10%の歪にも耐えられるプラスチック光ファイバ(POF)中のブリルアン散乱に着目している。

POF 中のブリルアン散乱信号は極めて微弱であるため、実際のセンサ応用のためには信号の増強が必要となる。その手法として、一般に、ポンプ・プローブ(P-P)法による誘導ブリルアン散乱(SBS)への遷移が知られている。これまでに、1.55 μm 帯において P-P 法により POF 中の SBS の観測に成功した[2]。しかし、ロックイン検波を含む複雑な実験系が必要であり、ブリルアン光時間領域反射計(BOTDA)には直接適用できなかった。より簡素な系での POF 中の SBS 観測が求められている(その困難の原因が、高い伝搬損失や小さいブリルアン利得係数など、POF の材料的問題にあることを我々はすでに明らかにした[3])。

そこで、本発表では、POF の長さを調整することで上記の問題を解決し、ロックイン検波を用いずに P-P 法で POF 中の SBS を観測したので報告する。さらにストークスパワーのファイバ長依存性やポンプ・プローブ光パワー依存性、温度依存性についても詳細な調査を行った。

2. 原理

光ファイバにポンプ光を入射すると、後方ストークス散乱光が発生する。この現象を自然ブリルアン散乱と呼ぶ[1]。この散乱光の中心周波数は、ポンプ光よりも数 GHz 低い。この周波数差をブリルアン周波数シフト(BFS)、散乱光のスペクトルをブリルアン利得スペクトル(BGS)、BGS のピークパワーをストークスパワーと呼ぶ。ポンプ光のパワーの増加に伴い、ストークスパワーも増加する。ここで、ポンプ光パワーをブリルアン閾値(P_{th})と呼ばれるパワーよりも大きくすると、SBS への遷移によりストークスパワーが急激に増強される。また、 P_{th} を低下させるべく、ブリルアン散乱光と同じ中心周波数をもつプローブ光を光ファイバの反対側の一端から入射する手法を P-P 法と呼ぶ[4]。

3. 実験系

被測定ファイバには、長さ 0.3~50 m の全フッ素化屈折率傾斜型(PFGL-POF)を用いた。コア径/クラッド径は 50 μm /100 μm 、1.55 μm 帯での伝搬損失は~250 dB/km であった。両端での焦げ回避のため、POF のシリカ単一モードファイバへの接続は、シリカ多モードファイバを介して行った[5]。P-P 法による POF 中の SBS 観測系を図 1 に示す。1.55 μm の二つのレーザ(LD)出力を、ポンプ光およびプローブ光として用いた。LD の駆動電流を変調し、ポンプ光の中心周波数を $\nu_0 - 1.3$ GHz から $\nu_0 + 1.3$ GHz まで掃引した(ν_0 は無変調時の中心周波数)。一方、プローブ光の中心周波数は $\nu_0 - \text{BFS}$ に固定した。ストークス光は、フォトダイオードで電気信号に変換した後、LD の電流変調周波数に同期させたオシロスコープで BGS として観測した。

4. 実験結果

まず、POF の長さを変えながら SBS を観測した結果を図 2 に示す。32 回の平均処理を施した(なお、図示しないが、平均なしでも SBS は観測できたため、BOTDA への直接適用が可能であると思われる)。ストークスパワーは POF の長さに大きく依存した。POF の長さに対するストークスパワーの依存性を図 3 に示す。POF の長さが 3.8 m の時、ストークスパワーが最大となった。これは、POF がある程度長ければポンプ光とプローブ光の相互作用長も長くなるが、長すぎると高い伝搬損失により両光が大きく減衰してしまうためである。

次に、10 m の POF を用いて測定したストークスパワーのプローブ光パワー依存性を図 4 に示す。プローブ光パワーが約 20 dBm ($= P_{th}$)になるとストークスパワーが急激に増加した。ストークスパワーのポンプ光パワー依存性にも 20

dBm 付近に閾値が存在した。P-P 法を使用しない場合の閾値は約 53.8 dBm であることを踏まえると[6]、以上の結果から P-P 法の正しく機能しているといえる。

最後に、10 m の POF を用いて BGS の温度依存性を測定した結果を図 5 に示す。温度の上昇に伴い、BGS は低周波側にシフトした。ストークスパワーの減少は、偏波変動や不均一な温度分布に起因すると考えられる。BFS の温度依存係数は -4.02 MHz/K であり、P-P 法を用いない文献値[7]とほぼ一致した。

5. 結論

POF の長さを調整することで、簡素な実験系で P-P 法による POF 中の SBS の観測に成功し、(1)入射光パワー等の条件に応じて SBS 観測に最適な POF 長が存在すること、(2)本手法で POF 中の SBS を効率的に発生させる際は、約 20 dBm 以上のポンプ光とプローブ光を用いるべきであること、(3)本手法でも高精度温度測定へ直接適用が可能であること、を示した。本成果は、将来 POF 中の SBS を用いた BOTDA を実現する際に、極めて重要な知見である。

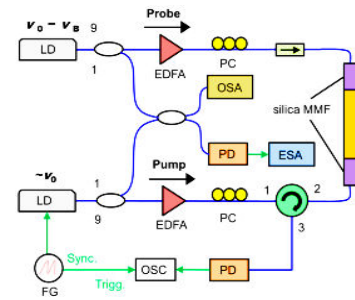


図 1. Experimental setup for observing SBS in POF with pump-probe technique.

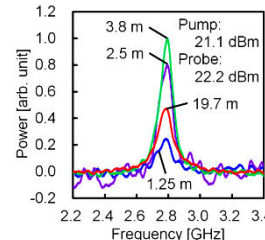


図 2. Measured BGS dependence on POF length.

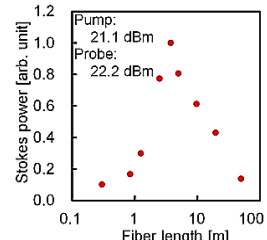


図 3. Stokes power dependence on POF length.

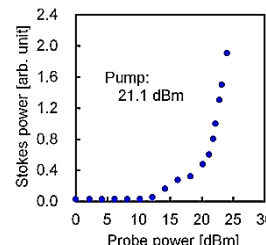


図 4. Stokes power dependence on probe power.

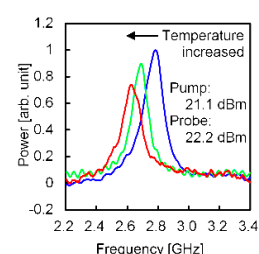


図 5. Measured BGS dependence on temperature.

参考文献

- [1] G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics* (AP, CA, 1995).
- [2] Y. Mizuno et al., *Opt. Lett.* **36**, 2378 (2011).
- [3] N. Hayashi et al., *Electron. Lett.* **49**, 366 (2013).
- [4] N. Shibata et al., *Opt. Lett.* **13**, 595 (1988).
- [5] Y. Mizuno et al., *Opt. Lett.* **38**, 1467 (2013).
- [6] Y. Mizuno et al., *IEEE Photon. Lett.* **23**, 1863 (2011).
- [7] Y. Mizuno et al., *Opt. Lett.* **35**, 3985 (2010).