

低コヒーレンスブリルアン光相関領域反射計の提案

Proposal of low-coherence Brillouin optical correlation-domain reflectometry

○大坪 謙太¹、清住 空樹¹、野田 康平^{1,2}、李 ひよん³、中村 健太郎²、水野 洋輔¹

¹横浜国立大学 工学研究院 ²東京工業大学 未来研 ³芝浦工業大学 工学部

○Kenta Otsubo¹, Takaki Kiyozumi¹, Kohei Noda^{1,2}, Heeyoung Lee³, Kentaro Nakamura², and Yosuke Mizuno¹

¹Yokohama National University ²Tokyo Institute of Technology ³Shibaura Institute of Technology

E-mails: otsubo-kenta-wv@ynu.jp, mizuno-yosuke-rg@ynu.ac.jp

1. はじめに

光ファイバに沿った歪や温度の分布を測定する技術として、ブリルアン散乱に伴う周波数シフトの歪や温度に対する依存性を利用した手法が広く研究されている。種々の方式が知られているが、ここでは相関領域法に注目する。

相関領域法によるブリルアン分布センサは、ブリルアン光相関領域解析法 (BOCDA) とブリルアン光相関領域反射計 (BOCDR) の2種類に大別される[1]。BOCDAは、測定ファイバ中の特定の位置で発生するブリルアン散乱のみを選択的に誘導ブリルアン散乱に遷移させることで分布測定を行う[2]。BOCDAには、散乱信号が強いという利点があるものの、測定ファイバの両端への光入射が必要であるため利便性に欠けるほか、プローブ光生成やロックイン検出のためのコストが高いという欠点がある。一方、BOCDRは、測定ファイバ中の特定の位置で発生する自然ブリルアン散乱のみを選択的に抽出することで分布測定を行う[3]。散乱信号は比較的弱い、測定ファイバの片端への光入射のみで動作するため敷設が容易で利便性が高く、比較的低コストで実装が可能である。

相関領域法は通常の構成でも空間分解能が高く、mm オーダーでの歪分布検出が実証されている[4,5]。しかし、導波路診断など、さらに高い空間分解能が必要となる場面も少なくない。そこで、低コヒーレンス光源を利用したBOCDAが提案された[6,7]。この方式では、空間分解能が光源のコヒーレンス長で決定されるため、サブmmオーダーの空間分解能が実現可能である。しかし、BOCDA特有の問題点である両端光入射の必要性和高コスト性は依然として問題であった。

そこで本研究では、上記の課題を克服すべく、片端光入射型の「低コヒーレンスBOCDR」を提案し、その基本動作を実証したので報告する。

2. 実験系

提案する低コヒーレンスBOCDRの実験系をFig. 1に示す。半導体レーザの駆動電流には直流バイアス7Vを印加し、ノイズ変調を施すことでコヒーレンス長(=空間分解能)を制御した。また、参照光路と反射光路の光路差がゼロとなる等光路点(測定点に相当)が測定ファイバ中に入るように各光路長を調整した。可変遅延線を用いて参照光路の長さを制御し、測定点を測定ファイバに沿って掃引することで分布測定を実現した。

測定ファイバの構造をFig. 2に示す。全長約5mのシリカ単一モードファイバ(SMF)中の10cmの区間をテープで固定し、約0.1%の歪を印加した。また、周囲37.5cmの範囲を測定区間とした。測定区間全体で50点のブリルアン利得スペクトル(BGS)を取得した。

3. 実験結果

まず、測定ファイバに歪を印加していない状態で、ノイズ変調振幅を増加させたときのBGSの変化をFig. 3(a)(b)に示す。振幅が小さい範囲ではピークパワーが低下するとともにノイズフロアが増加したが(Fig. 3(a))、振幅が大きくなるに従ってノイズフロアも減少に転じた(Fig. 3(b))。ピークパワーとノイズフロアの差が十分大きければ、ブリルアン周波数シフト(BFS)を正確に見積もることができる。以下の測定では、変調振幅を6V_{p-p}に設定した(このときの空間分解能は数cmであると考えている)。

次に、測定したBGSの分布をFig. 4(a)に示す。縦軸は、各BGSのピークパワーを1に正規化した。測定ファイバ中央付近でBGSが明瞭に高周波側にシフトした。次に、BFSの分布をFig. 4(b)に示す。BFSは測定ファイバの中央付近の10cmにわたってシフトしており、これは実際の歪区間の長さ一致している。また、BFSのシフト量は60MHz程度であり、約0.1%の歪の大きさにも対応している。以上の結果から、本システムでの歪分布の検出に成功した。

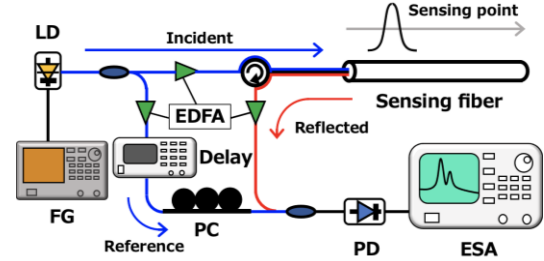


Fig. 1. Experimental setup of low-coherence BOCDA.

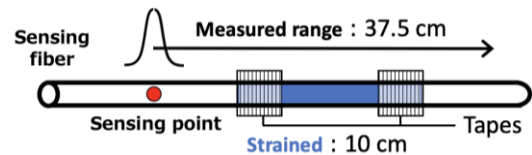


Fig. 2. Structure of the sensing fiber.

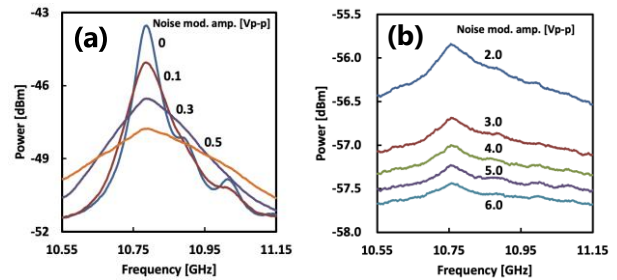


Fig. 3. BGS dependence on noise modulation amplitude; (a) relatively low amplitude and (b) high amplitude.

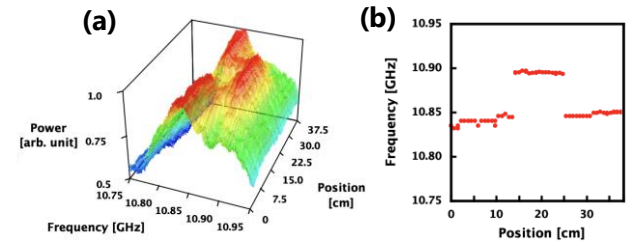


Fig. 4. Measured distributions of (a) BGS and (b) BFS.

今後は、理論的な空間分解能を定量評価することが急務である。具体的には、ノイズ変調振幅とコヒーレンス長の関係を遅延自己ヘテロダイン法により解明したい。続いて、信号対雑音比の向上を図った上で、本システムで得られる最高空間分解能を解明する予定である。

参考文献

- [1] K. Hotate, Appl. Sci. **9**, 187 (2019).
- [2] K. Hotate and T. Hasegawa, IEICE Trans. Electron. **83**, 405 (2000).
- [3] Y. Mizuno, W. Zou, Z. He, and K. Hotate, Opt. Express **16**, 12148 (2008).
- [4] K. Y. Song, Z. He, and K. Hotate, Opt. Lett. **31**, 2526 (2006).
- [5] H. Lee, Y. Mizuno, and K. Nakamura, Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 020303 (2018).
- [6] J. Zhang, M. Zhang, M. Zhang, Y. Liu, C. Feng, Y. Wang, and Y. Wang, Opt. Lett. **43**, 1722 (2018).
- [7] A. Zarifi, B. Stiller, M. Merklein, N. Li, K. Vu, D. Y. Choi, P. Ma, S. J. Madden, and B. J. Eggleton, APL Photon. **3**, 036101 (2018).