

氏名	ABRAR MD GOLAM BARKATUL
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	自博甲第21号
学位授与年月日	令和8年3月19日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
文部科学省報告番号	甲第885号
専攻名	創成理工学専攻
学位論文題目	Guided Spontaneous-Emission Circuit Technique with Improved Optical Power Resolution (向上した光パワー分解能を有する導波自然放出光回路技術)
論文審査委員	主査 島根大学教授 藤田 恭久 島根大学教授 増田 浩次 島根大学教授 影島 博之 島根大学准教授 吉田 俊幸 島根大学助教 北村 心

論文内容の要旨

Optical fiber sensing (OFS) has attracted considerable attention for a wide range of applications. These include industrial and environmental monitoring, long-distance transmission, and wide-area distributed sensing. Conventional optical power measurement approaches are often limited by gain saturation and nonlinear effects, which degrade measurement accuracy and stability. To overcome these limitations, this study proposes and investigates a novel nonlinear EDF-based optical circuit technique designed to significantly improve optical power resolution (OPR). The proposed circuit, previously referred to as the amplified spontaneous emission nonlinear circuit (ASENLN), is hereafter renamed the guided spontaneous-emission circuit (GSEC).

In recent years, a high OPR technique using an amplified spontaneous emission feedback circuit (ASEFC) has been reported to significantly improve OPR. ASEFC is a feedback fiber loop that consists of a gain medium that operates at the lasing threshold. Furthermore, the pumping direction dependence of the GSEC technique was investigated, thereby significantly improving the OPR in optical measurement systems. The results showed that forward pumping provides significantly higher OPR improvement than backward pumping.

Furthermore, numerical simulations were conducted to evaluate the performance of the GSEC technique in improving OPR. Experimental results demonstrated maximum slope values of

9.5 and 4.4 for forward and backward pumping, respectively, at an output wavelength of 1532.5 nm. The maximum slope of forward pumping was more than twice that of backward pumping. Numerical simulations of the mode field diameter (MFD) dependence revealed that the maximum slope increased with increasing MFD and reached a maximum value of 12.6 at 1533 nm.

Additionally, the basic characteristics of the GSEC technique were experimentally investigated using both single-stage (SS-GSEC) and dual-stage (TS-GSEC) configurations. The SS-GSEC achieved a maximum slope (S_{max}) of 22.8 using a 20.4-m EDF for forward pumping at 1532.5 nm.

Finally, in the dual-stage GSEC (TS-GSEC) configuration achieved, a maximum slope of approximately 30.6 the TS-4, which consisted of two EDFs with a total length $L_{tot} = 36.3$ m at an output wavelength of 1532.5 nm. Therefore, these results demonstrate that the proposed GSEC technique enables high-resolution optical power measurement and significantly improves OPR, representing a significant contribution to optical fiber sensing technology.

論文審査結果の要旨

本論文は、光計測分野における最も基本的なデバイス・装置である光検出器に関し、その光パワー分解能 (OPR) を顕著に改善する技術である「光入出力非線形回路 (OIONLC) 技術」に関するものである。その OPR の改善における指数は、10 以上の顕著に高い値を有する。その技術は、本論文の著者である申請者が所属するフォトニクス研究室において、2018 年ごろからに研究が進められているが、新原理で動作する革新的な光回路技術であり、「増幅自然放出光帰還回路 (ASEFC) 技術」および「導波自然放出光回路 (GSEC) 技術」に分類される。申請者の研究は、主に後者の「導波自然放出光回路 (GSEC) 技術」に関するものである。申請者が本論文に関する研究を開始する時点において、その GSEC 技術に関する研究は始まったばかりであり、実験における動作原理確認および基本特性確認、さらに理論におけるモデル化およびシミュレーションによる動作特性明確化が取り組むべき課題であった。申請者は、その課題解決に取り組み、関連論文として 2 編の査読付き国際会議論文および 1 編のジャーナル論文を筆頭または共著者として達成している。さらに参考論文 (査読あり) として、筆頭著者の国際会議論文 1 編、国内会議論文 1 編、また、共著の国際会議論文 1 編およびジャーナル論文 2 編を達成している。このうち、査読を有する国内会議論文 1 編において、HISS Excellent Research Award (HISS 優秀研究賞) を獲得している。本学位論文は、それらの関連論文および参考論文に基づいて執筆されたものである。

本論文の第 1 章では、研究の背景、目的・目標、応用における重要性が具体的に述べられている。続いて第 2 章では、上記の「GSEC 技術」について、従来技術との相違点、提案技術の動作原理、基本構成および基本特性が具体的かつ明確に示されている。第 3、第 4、第 5 章では、上記 3 編の関連論文 (順番に、関連論文(c)、(a)、(b)) に関する検討結果が述べられている。第 3 章では、GSEC の入出力特性に関する第 1 段の実験結果が示されている。すなわち、出力光パワーの入力光パワー依存性およびスロープ特性が報告されている。続いて第 4 章では、GSEC の入出力特性に関して、励起方向依存性の実験およびシミュレーション結果、およびそれら 2 つの結

果の比較が報告されている。また、GSEC の利得媒質であるエルビウム添加ファイバのモードフィールド径依存性のシミュレーション結果が示されている。第 5 章では、GSEC の入出力特性に関する第 2 段の実験結果が示されている。EDF 長および光フィルタの透過帯域依存性、また、応用に関する原理確認実験結果が示されている。上記の OPR 改善指数として 30.6 という顕著に高い値が達成されており、GSEC 設計最適化に関する重要な知見が得られている。第 6 章では、GSEC の入出力特性における入力光波長依存性の詳細なシミュレーション結果が示されている。第 7 章では、参考論文(b)の検討結果、GSEC の出力光波長依存性に関するシミュレーション結果が報告されている。第 8 章では、参考論文(a)の検討結果、ASEFC のマルチコアファイバ伝送システムに関する応用提案およびシミュレーション結果が報告されている。最後に第 9 章において、上記の検討結果に関するまとめが述べられている。

本論文は、今後の発展が期待される高度な光ファイバセンシングシステムにおける重要な知見をもたらすものであり、学術的および産業・社会的に有益な成果と考えられる。本論文の内容は、上記の通りレフェリーシステムの確立された国際会議およびジャーナル論文として掲載されている。以上を総合的に評価して当該論文は学位論文に値すると認め、合格と判定した。