

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 青 笹 真 一

本論文は、「クロス緩和を用いた利得シフト高濃度ツリウム添加光ファイバ増幅器の研究」と題し、6章より構成されている。近年、インターネット等に代表される大容量の通信需要に対応するため、波長分割多重通信(WDM)の信号帯域が拡大しており、中継器として用いられる希土類添加光ファイバ増幅器の広帯域化が必要不可欠である。これまで光ファイバの低損失域(1450~1650 nm)において C 帯(1530~1565nm)のエルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)および L 帯(1565~1625nm)の EDFA の実現により広帯域化が進められてきた。更なる広帯域化を推し進めるため、次世代の信号帯域として期待される S 帯(1460-1530nm)の光ファイバ増幅器の検討が精力的に行われている。本論文は、S 帯のツリウム添加光ファイバ増幅器(TDFA)に関するものであり、クロス緩和による利得シフト技術の中核技術とし、高効率化技術、最適設計技術、利得等化技術、利得制御技術の研究についてまとめたものである。

第1章は序論であり、光通信システムにおける光増幅技術の役割、光ファイバ増幅技術について概観し、ツリウム添加光ファイバ増幅器の研究経過と本研究の位置づけが記述され、本研究の目的と論文の構成を明らかにしている。

第2章では、S 帯中波長域以上で高利得が得られる利得シフト TDFA の実現を目指し、従来の励起法であるアップコンバージョン励起の課題を明らかにし、それを解決する手段として高濃度ツリウム添加による利得シフト法を新たに提案している。まず、TDFA が S 帯中波長域への利得シフトするための必要条件として 40%以下の低反転分布であることを示し、次にアップコンバージョン励起では増幅用ファイバの長尺化手法を用いてもその必要条件を満たせないことを明らかにしている。そこで、その課題を解決した利得シフト手法として、ツリウムイオンを高濃度添加時に発生するツリウムイオン間のクロス緩和を用いることで、低反転分布化を可能にし、利得シフトを実現する方法を提案している。高濃度添加時におけるクロス緩和の発生に関して実験と理論解析の両面から確認している。

第3章では、TDFA の高濃度ツリウム添加による利得シフト法に関して、増幅特性を測定し実験的に原理確認を行った後、増幅特性に大きく影響する最適化パラメータを見出した上でアンプの設計指針を示し、その設計指針を基に各パラメータの最適値を導出し、その増幅特性を示している。利得シフトの原理確認およびツリウム添加濃度の最適化に関しては、低濃度ツリウム添加時と高濃度ツリウム添加時の利得スペクトルを比較し、30nm 以上の利得シフトを確認し、6000ppm がツリウム添加濃度の最適値であることを見いだしている。励起波長の最適化に関しては、効率と雑音特性の両面から考えて 1400nm を見いだしている。双方向励起時の前方と後方の励起光パワ

一比率の最適化に関しては、前方の励起光パワーの比率が 25%の時に最大利得が得られることを結論づけている。これらの各指針を基に最適化を行った結果、1477~1507 nm の信号波長域で利得 22dB 以上、雑音指数 6dB 以下の優れた特性を実現し、S 帯中波長域の高利得増幅という目的を達成している。

第 4 章では、S 帯 TDFA に関して、WDM 伝送システムへの適用を目指し、アンプ構成の最適化により高効率化・低雑音化の検討を行っている。前段に雑音特性の優れた単一透過型、後段に高効率増幅が可能な反射型を配置したカスケード型アンプ構成を提案し、高効率と低雑音を両立することに成功している。本アンプをポストアンプおよびプリアンプとして用いた 120km, 8x10G/s WDM 伝送実験に成功し、本アンプが WDM 伝送システムへ十分適用可能であることを明らかにしている。またカスケード型 TDFA の利得等化器の設計に関しては、TDFA の複雑な準位系のため EDFA の設計手法が適用できないことを明らかにしている。そこで、実験的に利得等化器の損失スペクトルを導出する新しい手法を考案している。提案した手法により作製した利得平坦型カスケード TDFA は利得偏差 0.6dB 以下を達成し、本手法の有効性を実証している。

第 5 章では、多中継 WDM 伝送に対応した TDFA の利得スペクトル制御の実現を目指し、新たな制御法を 2 種類提案している。1 つは利得クランプと励起光パワーを組み合わせた制御、もう 1 つは制御光を用いる制御である。いずれの制御法も 1 重のフィードバックループの制御であり、高速制御を実現可能である。いずれの制御法についても実際に TDFA に組み込んで評価し、有効性を実証している。両者の比較の結果、前者は制御精度と使用部品の信頼性において優位であり、後者は温度補償が可能である点と伝送信号チャンネルにアンプの動作確認用の信号チャンネルを割り当てる必要が無い点において優位であることを見いだしている。

以上のように本論文は、次世代の WDM 信号波長域として期待される S 帯の光ファイバ増幅器である S 帯 TDFA の実現に向け、申請者のオリジナル技術であるクロス緩和による利得シフト技術の中核技術とし、利得シフト S 帯 TDFA の高効率・低雑音化技術、利得等化技術、利得スペクトル制御技術を理論と実験の両面から確立したものであって、電子工学、特に光エレクトロニクスの発展に貢献するところ大である。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。