

論文審査の結果の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 大島 伸夫

本論文は、近年著しく増加しているインターネット通信トラフィックに対応するために、その通信経路上で用いられる光通信デバイスの開発について述べられている。開発を行ったデバイスは、光送信モジュールと波長変換器であり、これらの高速化や高機能化に関して述べられている。

本論文は、六章から構成されている。それぞれについて評価を与える。

第一章は序論であり、光通信の現状、特に通信量の増加に伴って要求される目標を明らかにし、本研究で設定されるターゲットを示している。本研究で行ったデバイス開発の必要性と緊急性を示し、研究の意義を明らかにしている。

第二章では、本論文を理解するために必要な光学、熱解析、高周波、波長変換技術に関連する基礎理論について述べている。

第三章では、外部からの電気信号を半導体レーザーによって光信号に変換し光ファイバーに導くデバイスである光送信モジュールの開発について述べている。開発したモジュールは携帯基地局用の 20 Gbit/s 光送信モジュールである。これまで用いられていた光送信モジュールの動作保証環境温度は-5度から+80度であった。近年のスマートフォンによる通信量の増加により、基地局の環境も多様化し、内部の各種デバイスは様々な環境下で安定な動作が要求されるようになり、環境温度に関して-40度から+95度の広範囲においての動作の保証が要求されるようになった。モジュールはステンレス製のハウジングの中に、半導体レーザーとそれを駆動する電気回路、およびプラスチックレンズが主要部品として構成され、半導体レーザーから出射した光はレンズによって光ファイバーへと導かれる。環境温度の変化により、ハウジングやレンズは膨張や収縮し、それによって集光点が光ファイバーから移動し、結合効率の低下が発生する。この問題を解決するために、レンズの片面をステンレス部材で支持し、温度変化によって生じるレンズ表面と裏面での膨張差を考慮することによって、広い温度範囲においてレーザー集光点の変位を制御できることを示した。その設計に基づいてデバイスを製作し、上記の温度範囲において、目標値 2 dBに対して0.8 dBの光変動に抑えることに成功した。また、通信速度20 Gbit/sの良好な光出力波形が得られることも実証した。一連の設計は、光学設計だけでなく、熱設計および回路設計と異種分野の技術を最大限に利用した設計であり、高く評価できる。

第四章では40 Gbit/s光送信モジュールの開発について述べている。既存の40 Gbit/sに対応した光送信モジュールは高周波信号の劣化を防ぐため、プリント基板上(PCB:Printed

Circuit Board) に実装される電気信号源のICと光モジュール間を同軸ケーブルで直接接続する構成である。そのため、光モジュールには同軸コネクタが必要となり、モジュールの大型化につながっていた。同軸コネクタの代わりにフレキシブルプリント基板(FPC: Flexible Printed Circuit) をその接続部分に使用することでモジュールの小型化を図った。FPCを用いる場合、FPCとPCBの接続部においてインピーダンス不整合による電気信号の反射が問題となる。この問題を解決するために、接続部分で広い周波数帯域でのインピーダンス整合を取る必要がある。新規に考案した構造では、接続部分の電磁界解析によりその構造をサンドイッチ構造とすることにより広い周波数範囲において整合インピーダンスである 50オームに近い値にする解を見いだした。これにより 40 GHzの帯域において、-21.6 dB 以下の電気反射特性が得られ、従来品よりも体積比50%の低減を実現し、通信速度40 Gbit/s の動作にて従来品と遜色の無い良好なマスクマージン16 % の良好な光出力波形を得た。

電磁界インピーダンスに対する洞察とそれを基礎とした高度な電磁界解析により広い周波数範囲にわたってインピーダンス整合に成功し、実機で検証したことは工学的高く評価できる。

第五章では光波長変換器の開発について述べている。従来のルーターなどの光通信装置では信号の行き先の切り替えでは、入力光パケットを1度電気信号に変換し、メモリーに蓄えた後、電気信号に分割、電気信号で出力部に転送し、再度光パケットに変換・送出するという再構成が必要であった。そのため、電子機器における極めて膨大な消費電力と遅延時間が問題になっていた。この部分を全光化することによってこれらの欠点が抑制されるが、そのためには高速で動作する光スイッチが必要となる。その光スイッチ部の主要構成デバイスとして波長変換器があげられる。SOA (Semiconductor Optical Amplifier)-MZI (Mach Zehnder Interferometer) 型光波長変換器は、40 Gbit/sの高速な光信号に対しても、光信号の劣化が少ない良好な波長変換光が得られることから有望視されているが、入力信号光のパワーや偏波に対して出力される波長変換光の劣化が大きいことが実用化の妨げとなっている。この問題を解決するために、入力信号光のパワー変動に対しては、波長変換光のパワーをモニターすることで、入力信号光のパワー変動に対する波長変換光の波形品質を推測して入力信号に反映するフィードバック制御手法を新たに見出し、入力信号光パワーと偏波のロバスト化を図った。入力光波の偏波に関係なく、入力信号光パワーのダイナミックレンジは 8 dBが得られ、フィードバック制御が無い場合と比較して、約7dBの改善効果を実証した。

出力信号強度をモニターすることにより入力信号のパワー変動に対する波長変換光の波形品質を推定できることに着目し、それを設計、実装したことは工学的に高く評価できる。

第六章は結論であり、以上五章までに述べた研究成果を総括し、得られた知見をまとめている。

本論文については、平成29年2月10日に本学10号館3階演習室において全審査委

員の出席のもと公聴会が開催され、多くの質疑応答が行われた。公聴会終了後、直ちに学位審査委員会を開催し、本論文の内容を詳細に検討した。その結果、本研究成果は実用的にも工学的にも極めて大きな価値があり、研究内容の学術的水準の高さと独創性において極めて優れていると判断した。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。