

論文内容の要旨

博士論文題目 光アクセス／データ通信ネットワーク用光送受信
モジュールの設計・解析手法に関する研究

氏 名 黒崎 武志

(論文内容の要旨)

本研究では、様々な光アクセス／データ通信ネットワークにおいて求められる光送受信モジュールの小型・低コスト化・高速化の実現を目指し、モジュール構成や実装を簡易化する方法を考案すると共に、それらを実現するために必要な設計・解析方法の検討を行い、以下の成果を得た。

① 半導体レーザとフォトダイオードの両方の機能を併せ持つ送受ダイオードの実現を目指し、実測が困難であった送受信切換時間を、等価回路解析とインピーダンスの周波数特性の測定を組み合わせた新しい方法で評価できることを実証した。また、実際の評価結果において、従来型 pn 埋込構造の高速 LD モジュールに比べ、送受ダイオードでは切換時間が約 1/20 ($0.55 \mu s$) にまで短くできることを明らかにした。

② PLC プラットフォームとパッシブアライメント実装技術を組み合わせたハイブリッド集積光送受信モジュールの実現を目指し、そのための重要課題となった送受信同時動作時の電気クロストーク抑圧のための設計・解析手法の検討を行った。 -40 dBm の受信感度を得るために必要な電気クロストーク抑圧レベルとして -100 dB 以下という設計目標値を導出し、その条件を満たすようなレイアウト設計を、3次元電磁界解析を用いて行った。設計結果に基づいて作製したモジュールにおいて、送受信同時動作時の受信感度劣化を 0.3 dB 以下に抑圧できることを実証した。

③ 低コスト化には有利であるが高速動作には不向きとされていたプラスチックパッケージを適用した 10G 級光受信モジュールの検討を行った。材料、及び、形態の見直しを行い、高周波特性に優れた形態として MID 型を採用し、材料としては液晶ポリマーを選択することで、高速動作の実現を図った、また、特性インピーダンスの不整合を伴うテーパ状の高速信号配線に関しては、3次

元電磁界解析を用いた設計によりテーパ領域の長さの最適化を行った。さらに、ガラスV溝基板上へのPDのパッシブアライメント実装により、良好な10Gbit/s受信動作を実現した。

④ DFBレーザのアイソレータフリー動作実現を目的として、戻り光による伝送特性劣化要因の明確化と、高反射耐性化のための設計指針の導出を行った。指針に基づいた素子を用いることで、反射耐性を2%まで向上できることを実証した。

次に、アイソレータを用いずに外部共振器モードの影響を抑圧できるようにするために、Fマトリクス解析とレート方程式を連携させ、さらに、有効長の概念を導入することにより、出射端面側に可飽和吸収領域を設けたDFBレーザの戻り光結合係数や外部微分量子効率の計算手法を考案した。この手法を用いて素子構造の最適化を図ることにより、空間的ホールバーニングの起こりにくい比較的小さな結合係数 ($\kappa L=1.5$) の回折格子を用いて、外部共振器モードの影響を受けにくい ($|C|=0.18$) 構造を実現できる可能性があることを示すことができた。

最後に、上記の成果の展開と今後の見通しについて考察を行った。

氏名	黒崎 武志
----	-------

(論文審査結果の要旨)

本研究は、光アクセス／データ通信ネットワークにおいて求められる光送受信モジュールの小型・低コスト化・高速化の実現を目指し、モジュール構成や実装を簡易化するための創意工夫を行い、必要に応じて新たな解析手法を手掛けることにより、様々な課題を解決に導いている。

まず、半導体レーザとフォトダイオードの両方の機能を併せ持つ送受ダイオードについては、等価回路モデルの立案とパラメータ抽出の手法を用いて、送受信切換時の放電特性を求める手法を考案し、実証している。また、実際の評価結果において、従来型 pn 埋込構造の高速 LD モジュールに比べ、送受ダイオードでは切換時間を 1 桁以上短くできることを明らかにした。さらに、活性層における非線形動作を組み込んだ解析も行い、立案した等価回路モデルとの差分について考察している。

次に、PLC プラットフォームとパッシブアライメント実装技術を組み合わせたハイブリッド集積光送受信モジュールにおいては、電気クロストークの抑圧に重点を置いた設計と解析を行っている。 -40dBm の受信感度を得るために必要な電気クロストーク抑圧レベルとして -100dB 以下という設計目標値を導出し、その条件を満たすようなレイアウト設計を、3次元電磁界解析を用いて行った。設計結果に基づいてモジュールを作製し、送受信同時動作時の受信感度劣化を 0.3dB 以下に抑圧できていることが示された。

プラスチックパッケージを適用した 10G 級光受信モジュールにおいては、高周波特性に優れた形態 (MID 型) と材料 (液晶ポリマー) を選択した光受信モジュールを考案した。また、テーパ状の高速信号配線に関しても、3次元電磁界解析を用いて設計がなされている。さらに、ガラス V 溝基板上への PD のパッシブアライメント実装を行うことで、良好な 10Gbit/s 受信動作を実証した。

DFB レーザの高反射耐性化においては、戻り光による伝送特性劣化要因が明らかにされ、現象論的な手法により高反射耐性化のための設計指針が導かれている。その後、解析的な導出法によっても考察がなされている。指針に基づいた素子を用いることで、反射耐性を 2% まで向上できることも示された。

最後に、アイソレータを用いずに外部共振器モードの影響を抑圧できるようにするために、Fマトリクス解析とレート方程式を連携させ、有効長の概念も取り入れて、出射端面側に可飽和吸収領域を設けたDFBレーザの戻り光結合係数や外部微分量子効率を計算する手法を考案している。さらに、外部共振器モードの影響を受けにくい有望な構造が見つけ出されている。

以上のように、本論文では、等価回路解析、パラメータ抽出、電磁界解析、Fマトリクス解析、レート方程式解析等の様々な解析手法を駆使して、課題解決のために取り組んだ成果が示されており、重要な知見である。よって、審査委員一同は、本論文が博士（工学）の学位論文として価値あるものと認めた。