

集積化アクティブ光アクセスシステムの研究開発

(1) 研究の目的

PON を基本とする光アクセスシステムの延長ではない、スイッチング機能を取り入れたアクティブ型の新たな光アクセスシステムのアーキテクチャの構成とその制御技術、SPIC(Silicon Photonic Integrated Circuit)などの先端デバイス技術による小型集積化技術、の研究開発を産学連携で推進し、ギガビット級光アクセスシステムを世界に先駆けて実用化することを目的とする。

(2) 研究期間

平成 19 年度から平成 21 年度 (3 年間)

(3) 委託先企業

株式会社 日立製作所<幹事>、学校法人 慶應義塾

(4) 研究予算 (百万円)

平成 19 年度	370 (契約金額)
平成 20 年度	320 (契約金額)

(5) 研究開発課題と担当

課題ア：Si フォトニック IC(SPIC: Silicon Photonic Integrated Circuit)による超小型 10G-ONU(10Gigabit-Optical Network Unit), 及び OLT(Optical Line Terminal)に関する技術

ア-1：ハイブリット小型集積技術 (受動光部品や送受信 OE などの集積) (株式会社 日立製作所)

ア-2：10G 光アクセス-バースト信号の通信・制御技術 (株式会社 日立製作所)

課題イ：超高速光スイッチによるアクティブ回線制御に関する技術

イ-1：超高速光スイッチ技術

イ-1-1 超高速光スイッチの制御方式 (学校法人 慶應義塾)

イ-1-2 超高速光スイッチの機能実装 (株式会社 日立製作所)

イ-2 双方向アクティブ回線制御技術

イ-2-1 双方向アクティブ回線の制御方式 (学校法人 慶應義塾)

イー 2 - 2 双方向アクティブ回線の制御機能実装 (株式会社 日立製作所)

(6) 主な研究成果

特許出願： 3 件
外部発表： 15 件

具体的な成果

課題ア：Si フォトニック IC(SPIC: Silicon Photonic Integrated Circuit) による超小型 10G-ONU(10Gigabit-Optical Network Unit), 及び OLT(Optical Line Terminal)に関する技術

アー 1：ハイブリット小型集積技術 (受動光部品や送受信 OE などの集積) (株式会社 日立製作所)

- 光モジュールの要素部品である、能動光素子搭載基板と受動光部品集積基板の改良設計を行った。また、これらを 3 次元光実装した双方向小型光モジュールを試作・性能評価した結果、目標の 10Gbps 動作を実証した。
- 上記基板間をウェハレベル且つ高位置精度で接続するボンディング技術の開発を進め、受動光部品積層基板を試作した。光学特性を評価した結果、目標とする $\leq 5\text{dB}$ の光挿入損失を達成した。また、基板接続における基板位置ずれ量に関しても目標の $\pm 10\mu\text{m}$ 以内と高精度での接合を達成した。

アー 2：10G 光アクセス-バースト信号の通信・制御技術 (株式会社 日立製作所)

- 平成 19 年度に開発した PHY 制御方式を 10G OLT/ONU 方式検証ボード装置に実装し、バースト同期時間と FEC 利得を評価した結果、PHY 制御方式がボード上で目標通り動作することを確認した。
- OLT/ONU 方式検証機能拡張ボード装置を試作し、上り/下り方向共に 40km 伝送可能であることを確認した。更にジッタ性能を測定し、IEEE 規定値を満たすことを確認した。
- 課題イー 2 - 2 の光スイッチ制御方式論理回路と連動した集積化アクティブ光アクセスシステム及び 10G-EPON の OLT と ONU の PHY-MAC 制御方式が、論理シミュレータ上で目標通りに動作することを確認できた。

課題イ：超高速光スイッチによるアクティブ回線制御に関する技術

イー1：超高速光スイッチ技術

イー1-1 超高速光スイッチの制御方式（学校法人 慶応義塾）

- 平成19年度に実施したPLZT導波路型スイッチの基本設計に基づき、1×2光スイッチの伝送特性の基本設計を行った。
- 従来のリッジ型で生じるリッジ側壁部の電極による光吸収損失、および斜め電界成分による偏波依存を改善するため、電極と光電界の隔離、および上部電極斜め電界成分の低減を可能とする逆リッジ型構造をベースとした新規の埋め込み型構造を設計し、電極損失低減と偏波依存性改善の両立を図った。
- 新規埋め込み型構造を採用した、電極長3500 μm 、電極幅2.8 μm 、RC時定数5nsのMZ型1×2光スイッチエレメント構造の設計を行い、1×8以上の規模のスイッチ開発のための基盤技術を確立した。

イー1-2 超高速光スイッチの機能実装（株式会社 日立製作所）

- PLZT薄膜導波路型光スイッチエレメントのポート切替制御を行うための駆動信号を出力する電気回路であるドライバ回路を開発し、10ns以下の光スイッチエレメントのポート切替を行うことが可能な駆動信号を出力できることを確認した。
- 1×8光スイッチエレメントを開発し、10ns以下のポート切替を行えることを確認した。また、10Gbpsでの信号伝送を行えることを確認した。

イー2 双方向アクティブ回線制御技術

イー2-1 双方向アクティブ回線の制御方式（学校法人 慶応義塾）

- 光スイッチを介した帯域割り当て制御を実現するために、OLTが動的帯域割り当てアルゴリズムの結果に基づいて、光スイッチの切り替え順序を動的に変更する光スイッチ制御手法を提案した。
- さらに、OLTと光スイッチ間の同期のズレの影響を低減するために、周期的にOLTと光スイッチ間の同期のずれを確認し、再同期を取る同期補正手法を提案した。
- 電気エミュレーションシステムによるネットワーク実験により、提案手法の動作検証を行い、提案手法の動作が正しく行われることを確認した。

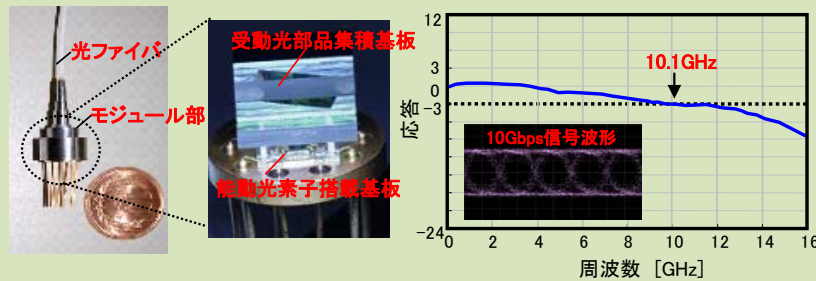
イー２－２ 双方向アクティブ回線の制御機能実装（株式会社 日立製作所）

- 課題ア－２の OLT と ONU と連携した集積化アクティブ光アクセスシステムの光スイッチ制御方式の論理回路が、論理シミュレータ上で期待通りに動作することを確認できた。
- 課題イ－１－２で開発した光スイッチドライバ、および、1×8 光スイッチエレメントを搭載可能な光スイッチ検証ボード装置を開発し、1×8 光スイッチエレメントのポート切替を行えることを確認した。

「集積化アクティブ光アクセスシステムの研究開発」に関する主な研究開発成果(1)

課題ア-1:ハイブリット小型集積技術

- 能動光素子搭載基板と受動光部品集積基板を三次元実装した、チップスケール小型一芯双方向光モジュールを開発し、10Gbps動作を実証
- 基板間をウェハレベル且つ高精度で接続するボンディング技術を開発し、同技術を適用した受動光部品積層基板を実現

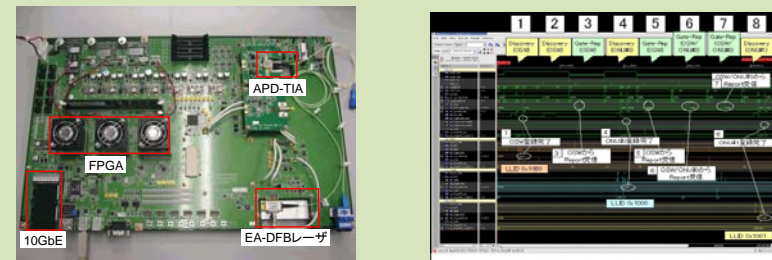


小型一芯双方向モジュール

10Gbps信号伝送特性

課題ア-2:10G光アクセス-バースト信号の通信・制御技術

- PHY制御方式の動作をOLT/ONUの方式検証ボード上で確認
- OLT/ONUの方式検証機能拡張ボード装置を試作し、上り/下り方向共に40km伝送可能であることを確認
- 課題イ-2-2と連携し集積化アクティブ光アクセスシステム兼10G-EPONのOLT、ONUの期待通りの動作を論理シミュレータ上で確認



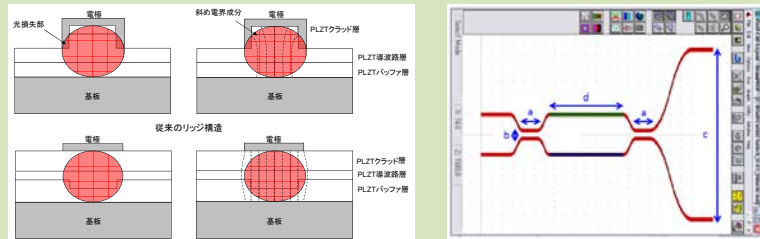
OLT方式検証機能拡張ボード装置

論理シミュレーション波形

イ-1-1:超高速光スイッチの制御方式

連携

- 逆凸型リッジ構造をベースとした埋め込み型導波路構造を設計。PLZT導波路構造電極損失低減と偏波依存性改善を達成
- 電圧駆動によって高速化が可能で、かつ高い消光比が得られる光スイッチの方式としてマツハツエンダー型を採用したスイッチ構造を設計。1×8以上の規模の光スイッチ開発のための基盤技術を確立

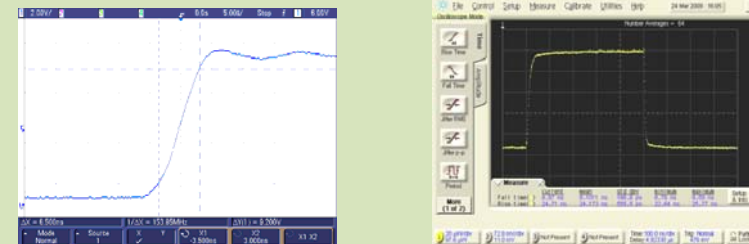


上:従来型, 下:逆リッジ型

1×2光スイッチエレメントの構造

課題イ-1-2:超高速光スイッチの機能実装

- 光スイッチエレメントを駆動可能な光スイッチドライバを開発
- マツハツエンダー型のPLZT薄膜導波路を用いた1×2光スイッチエレメントをツリー構造に3段接続した構造を持つ、1×8光スイッチエレメントを開発。光スイッチドライバと組み合わせた評価を行い、10ns以下のスイッチングが可能であることを確認



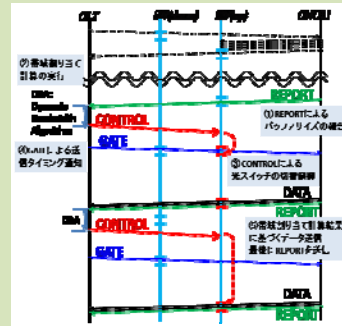
光スイッチドライバの出力信号

光スイッチの出力波形

「集積化アクティブ光アクセスシステムの研究開発」に関する主な研究開発成果(2)

イー2-1: 超高速光スイッチの制御方式

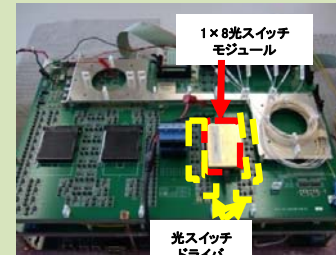
- OLTが動的帯域割当アルゴリズムの結果に基づいて、光スイッチの切り替え順序を動的に変更する光スイッチ制御手法を提案
- OLTと光スイッチ間の同期のズレの影響を低減するために、周期的にOLTと光スイッチ間の同期のずれを確認し、再同期を取る同期補正手法を提案
- 電気エミュレーションシステムによるネットワーク実験により、提案手法の動作検証を行い、提案手法の動作が正しく行われることを確認



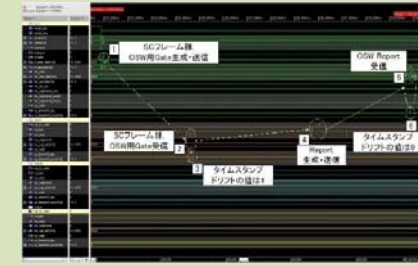
帯域割当の流れ

課題イー2-2: 双方向アクティブ回線の制御機能実装

- 課題イー1-2で開発した光スイッチドライバ、1×8光スイッチエレメントを搭載する光スイッチ検証ボード装置を開発。光スイッチのポート切替を行えることを確認
- 課題ア-2と連携し、光スイッチ制御論理の期待通りの動作を論理シミュレータ上で確認



光スイッチ検証ボード装置



論理シミュレーション波形

報道発表: 株式会社 日立製作所

「次世代FTTHに向けた10ギガビット/秒光アクセス技術を用いた映像通信システムで高精細画質映像の双方向通信に成功」(平成21年3月17日)

通信距離20km、家庭用送受信器32台を接続した環境において、ビット誤り率 10^{-12} での通信品質を実現、双方向HD映像通信を達成



10ギガビット/秒光アクセス技術を用いた映像配信デモ

報道発表: 学校法人 慶應義塾

「アクティブ光スイッチによる性能とコストに優れた次世代光アクセス網の提案」(平成20年12月9日、KEIO TECHNO-MALL 2008開催におけるプレスリリースとして発表)

世界に先駆け実験ネットワークを構築し、提案手法の動作成功を確認。動態展示デモにより、成果をアピール。



慶應テクノモール2008での展示デモ