

成果概要書

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） |
| 平成21年度 | 262（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-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) これまでの主な研究成果

特許出願：国内出願 11件 外国出願 5件
外部発表：研究論文 3件 その他研究発表 30件
報道発表 4件 展示会 13件 標準化提案 4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-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(LD、PD、電子回路集積、21mm²)と受動光部品集積基板(波長フィルタ、レンズ集積、18mm²)を3次元実装し集積化した、小型(目標 50mm²以下)光トランシーバを完成し、10Gbps 信号伝送動作を実証した。
- 能動光素子搭載基板と受動光部品集積基板を高精度に接続するためのウェハレベル3次元実装(ボンディング)技術を確立し、±10 μm以内の高位置精度実装且つ送信/受信間のアイソレーション 20dB以上、挿入損失 5dB未滿の良好な光学性能を実現した。
- 試作した小型トランシーバをONUボードに組み込み、ONU-OLT間光信号伝送実験にて、エラーフリーの安定な 10Gbps 光信号伝送動作を実証した。

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）

- 128 利用者と双方向通信が可能な集積化アクティブ光アクセスシステムの通信制御を行う PHY-MAC 制御方式を策定し、シミュレータ上で機能検証、論理回路に実装し、実機にて動作検証した。
- OLT及びONUのMAC機能とPHY機能を搭載し、双方向10Gbpsバースト通信が可能な光送受信部を備えた方式検証ボードを開発した。
- 方式検証ボードと「課題イ：超高速光スイッチによるアクティブ回線制御」で開発したスイッチボードとを接続連携し、通信距離40kmでの10Gbpsバースト双方向通信が可能であることを実証した。
- 集積化アクティブ OLT は、集積化アクティブ ONU のみでなく、10G-EPONのONUも収容する接続互換性があることを実機上で実証した。

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-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 慶応義塾）

- 電気光学効果のモード依存性の小さい組成として、バッファ層として PLZT(9/65/35)、導波路層として PLZT(3/58/42)を選択し、実測値も期待通りの電気光学係数が得られることを確認した。
- 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。
- 低電圧駆動で高速化でき、かつ高い消光比が得られる光スイッチの方式として、DC 型と MZ 型を比較検討した。その結果、MZ 型は DC 型の 73% の電圧でスイッチングが可能となることを検証し、MZ 型を採用し、1×2 光スイッチエレメントの構造設計を行った。
- 埋め込み型導波路の構造設計、MZ 型 1×2 光スイッチエレメントの構造設計に基づき、1×8 スwitchエレメントのチップを開発し、切り替え速度 10ns 以下に加えて、従来のリッジ型の約 1/2 の挿入損失特性と偏波無依存性を達成した。
- 1×8 スwitchエレメントの構造設計によって、1×16 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-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 薄膜導波路型の光スイッチ、ならびに、本光スイッチを駆動するためのドライバを開発した。
- 光スイッチとドライバの組合せにより、10Gbps のバースト信号伝送を実現した。
- 1x2 光スイッチを 3 段接続した 1x8 光スイッチモジュール、および、4 段接続した 1x16 光スイッチモジュールを開発した。これら 1x8 光スイッチモジュールと 1x16 光スイッチモジュールの組合せにより、1x128 光スイッチを構成した。
- 1x128 光スイッチにおいて、切替速度 10ns 以下を達成した。
- 1x128 光スイッチを光増幅器と組み合わせることにより、全損失（ネットロス）0dB を達成した。

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 慶応義塾）

- 周期的にコミュニケーションチャネルと呼ばれる区間を設け、ONU 側から Register Request メッセージの連続送信を用いて、自身のコミュニケーションチャネルを把握する手法を提案した。
- Register Request の連続送信開始タイミングを微増しながら

Discovery 処理を行うことにより、より高精度にコミュニケーションチャネルを把握する精度改善手法を提案した。

- 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した。
- 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。
- 世界に先駆けて構築した実験ネットワークによる動作検証を行い、提案手法により Discovery 処理からデータ送受信までの一連の動作に対して高い有用性を確認した。
- 応用技術として光スイッチを構成するスイッチエレメントの一部を分配スイッチとして利用するマルチキャスト接続アルゴリズムを提案、帯域利用効率の高いマルチキャスト接続ができることを確認した。

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)

- 課題イー 1 - 2 で開発した PLZT 薄膜導波路回路、および、ドライバを制御するための光スイッチ制御論理回路を開発し、これらを組み合わせた超高速光スイッチを構築した。
- 超高速スイッチを搭載し、ONU と OLT 間の光通信路切替を行う通信路切替装置を開発した。
- 課題ア - 2 で開発した 10G-ONU、OLT、および、光通信路切替装置を組み合わせた実験系を構築し、ONU と OLT 間のビット誤り率が双方向で 10^{-12} 以下を達成した。

(7) 研究開発成果イメージ図

別紙参照。