

(7) 研究開発イメージ図

「光RAMサブシステムに関する研究開発」の開発成果について

1. 施策の目標

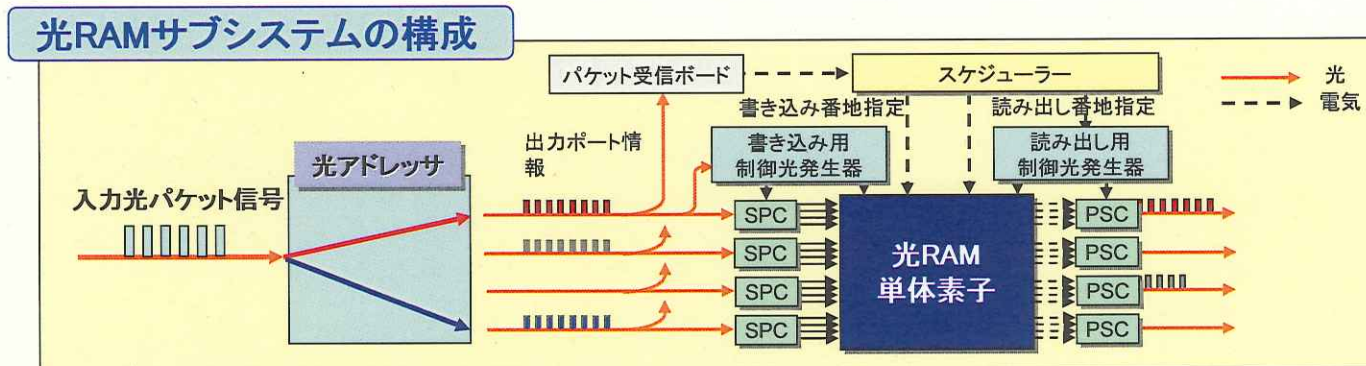
将来のルータの主流になると期待される全光パケットルータを実現する上で不可欠である、非同期光信号で入出力可能な光RAMサブシステムを実現する基本技術を確認し、プロトタイプの実製により技術的可能性を検証する。

2. 研究開発の背景

ブロードバンド化によるトラフィック急増に対応したネットワーク増強が急務となっている。信号伝送はWDM光伝送等の急速な進展により当面の容量増強に対しては技術的には充分対応できる余地を残しているが、処理の大部分を電子回路に依存しているルーティング処理がネットワークの新たなボトルネックになると懸念されている。この点から今後のネットワーク増強には、ルータの大容量化・低コスト・低消費電力化が重要課題となっている。現在のルータでは信号処理は全面的に電子回路に依存しているが、入出力は光化が進みまた装置内部のインターコネクションも光化されつつある。このためルータ内部では光⇄電気の変換を繰り返しながら処理が進む形となり、光電変換及びこれに伴う速度変換のための直⇄並列変換が装置のコスト及び消費電力の過半を占めている。信号処理の光化を進めこれらの変換回数を極力減らすことが不可欠と考えられているが、パケット処理に不可欠な光メモリが存在しないため現状では光化は不可能であり、この分野での研究開発が期待されている。

3. 研究開発の概要と期待される効果

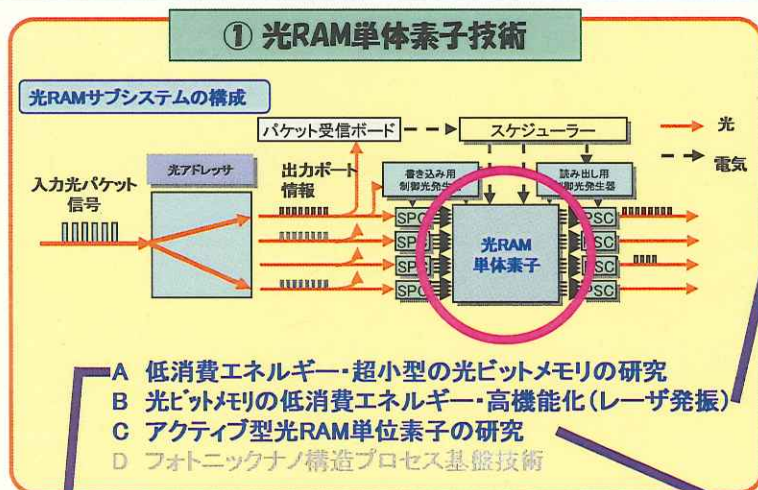
上述したルータ内部の光化に向けては、光メモリ自体の研究が重要であるばかりでなく、光メモリに信号を書き込んだり読み込んだりするためのアドレスや光信号パルス列の直列・並列変換を用いるインターフェイス等の光メモリ周辺技術の研究も同時に推進する必要がある。本委託研究では、光メモリ単体とその将来の量産化を睨んだ製造技術、および周辺光制御技術の研究を進め、さらには光メモリを前提とした光パケットルータ構成法の研究も行っている。これらの研究成果を集約することによって、将来の光ルータの重要な要素となる光RAMサブシステムの動作実証が期待できる。



4. 研究開発の期間及び体制 平成18年度～平成22年度(5年間)

NICT委託研究(日本電信電話株式会社、大阪大学、九州大学、日本電気株式会社)

① 光RAM単体素子技術の主な成果 — その1



B 光ビットメモリの低消費エネルギー・高機能化(レーザ発振)

～埋込ヘテロ型フォトニック結晶レーザを実現～

アクティブ型(双安定レーザ型)
DBRレーザ型光RAM単位素子の大幅なサイズ縮小・低消費電力化を目指してフォトニック結晶を用いたアクティブ型光RAM単位素子の検討を開始

検討する双安定レーザの構成

1. 過飽和吸収体を用いた双安定レーザ
2. 結合共振器を用いた双安定レーザ

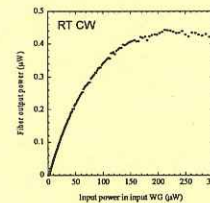
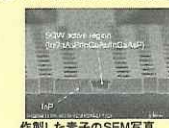
ポテンシャル

- 原理的に、全光型より安定動作(メモリ保持時間が無制限)が見込める
- 励起光に対する波長・偏波の制限が非常に小さいためチップ集積の設計自由度が高い、モジュール化が容易

進捗状況

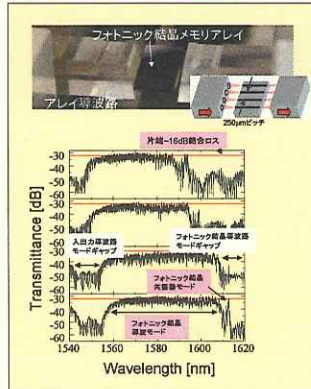
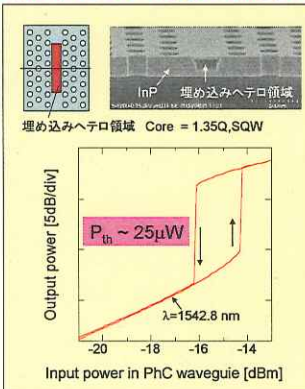
- 世界最小サイズの埋込ヘテロ構造を実現
- 世界最小閾値を実現(光励起)
- フォトニック結晶レーザとして世界最高の出力光強度を実現

埋込ヘテロ型フォトニック結晶レーザ



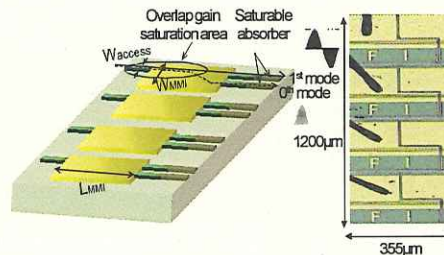
A 低消費エネルギー・超小型の光ビットメモリの研究

～埋込ヘテロ型フォトニック結晶メモリの開発～ ～アレイ導波路による多ポート光入出力系の構築～

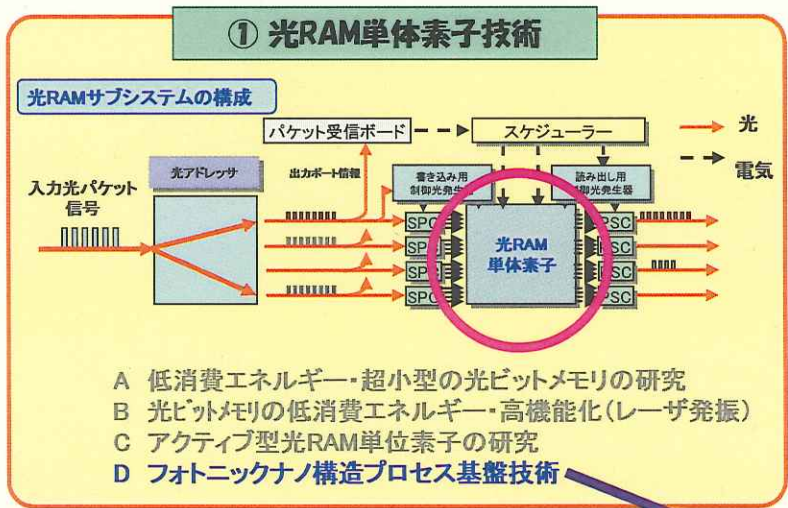


C アクティブ型光RAM単位素子の研究

- 前年度成果に基づき、集積構造の検討を進めた。その結果、4bit集積構造の実現(全エレメント動作実証)が得られた。
- 更にヒステリシス幅に関する検討を進め、ヒステリシス幅93mA(対設定電流比100%以上)という、既報告値10倍以上という、大幅な特性向上を実現した。



① 光RAM単体素子技術の主な成果 — その2



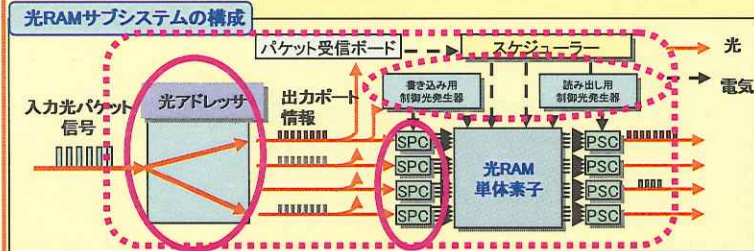
D フォトニックナノ構造プロセス基盤技術

- フォトニックナノ構造と光導波路素子とのモノリシック集積化に向けて確立した異種光導波路形成技術を、集積光源の試作に応用、本手法の可能性を確認。
- 生産を律速する電子ビーム露光の、i線ステップ露光代替を検討、電磁場解析による条件最適化とレジスト化学収縮併用で解像に目処。

i線ステップ露光形状(断面) i線ステップ露光形状(平面) SiO₂膜転写後
 (左) 反射防止膜なし (左) 反射防止膜なし 周期450nm
 (右) 反射防止膜あり (右) 反射防止膜あり 穴径230nm

② 光RAMサブシステム制御技術の主な成果 — その1

② 光RAMサブシステム制御技術



- A 波長アドレスモノリシック集積素子の実現
- B 光ビーム走査型光アドレスの開発
- C 全光シリアル-パラレル変換器モジュールを装置化して動作実証
- D 光パルス強度の安定化とOCPTGの小型モジュールを装置化して動作実証
- E 光電融合型RAMを装置化。フルパケット動作を実証

B 光ビーム走査型アドレスの開発

光RAMサブシステムにおいて、空間光アドレスとして用いる導波路型ビーム走査素子の無損失化に成功した。また、本空間光アドレスと光直並列変換/並直列変換器との光インターフェースの要求条件を明らかにした。以下、具体的な成果を述べる。

●入力導波路をSOA化した多モード干渉導波路スイッチの設計・試作をNTTフォトニクス研の協力を得行った。

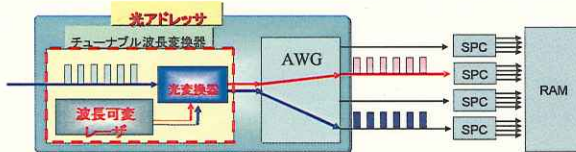
●試作した1x4光増幅機能付多モード干渉導波路スイッチの動的および静的スイッチング動作を評価し以下の結果を得た。

1. 同種の光増幅機能無し多モード干渉導波路スイッチと比較して、30dB程度の増幅を確認しほぼ挿入損失ゼロのスイッチング動作を確認した。
2. 消光比およびクロストークの劣化が見られたが、第2次設計・試作でこれらの問題を改善できる見通しを得た。

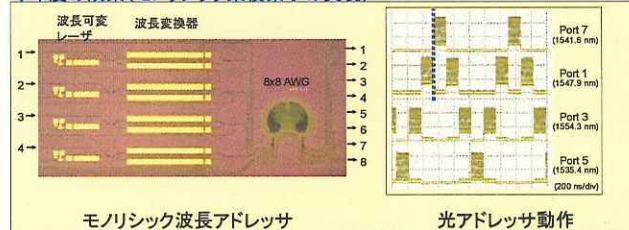
●最終目標としている4ビットメモリ素子を用いた光RAMのデモに向けて、多モード干渉導波路スイッチと光直並列変換/並直列変換器との光インターフェースの要求条件を明らかにした。



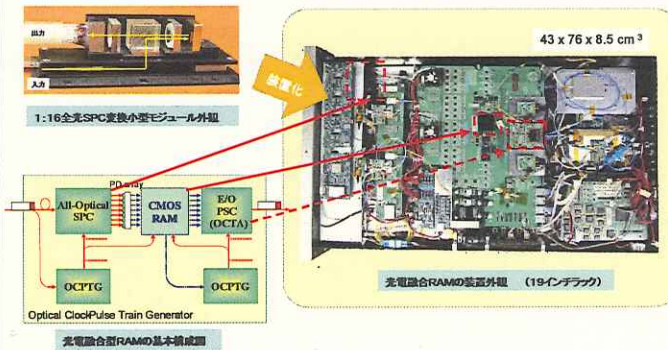
A 波長アドレスモノリシック集積素子の実現



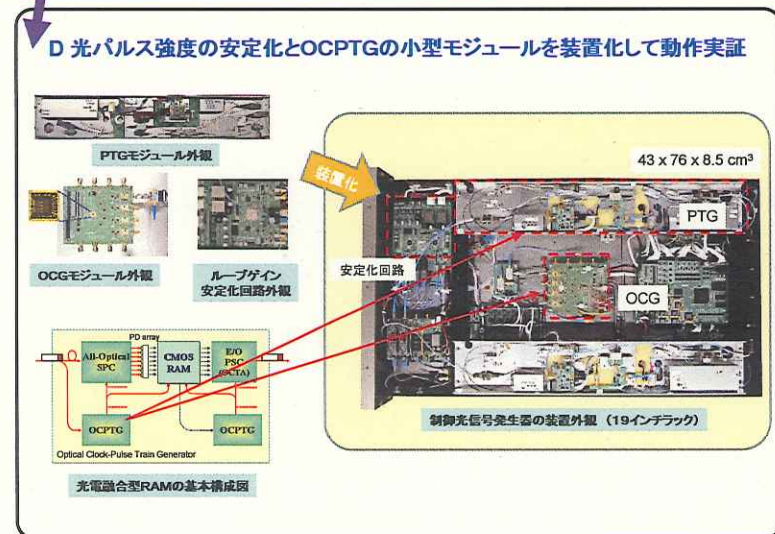
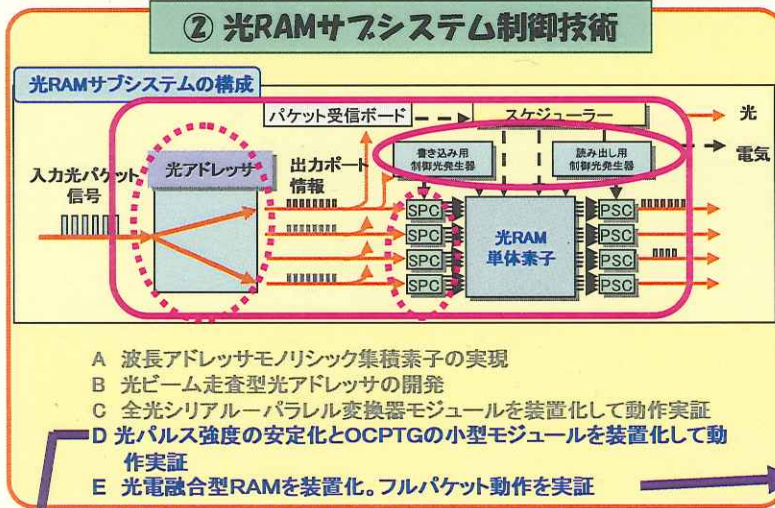
今年度の成果(モノリシック集積素子の実現)



C 全光シリアル-パラレル変換器モジュールを装置化して動作実証



② 光RAMサブシステム制御技術の主な成果 — その2



E 光電融合型RAMを装置化。フルパケット動作を実証

100 x 60 x 100 cm³

光電融合型RAMの外観

光電融合型RAM層

課題イー-3の成果、課題イー-5の成果

ラベル処理・スイッチング層

制御光信号発生層

課題イー-4の成果

ECOC2009(オーストリア) 動態展示風景 2009年9月21~23日

光電子融合型を開発

NTT消費電力10分の1

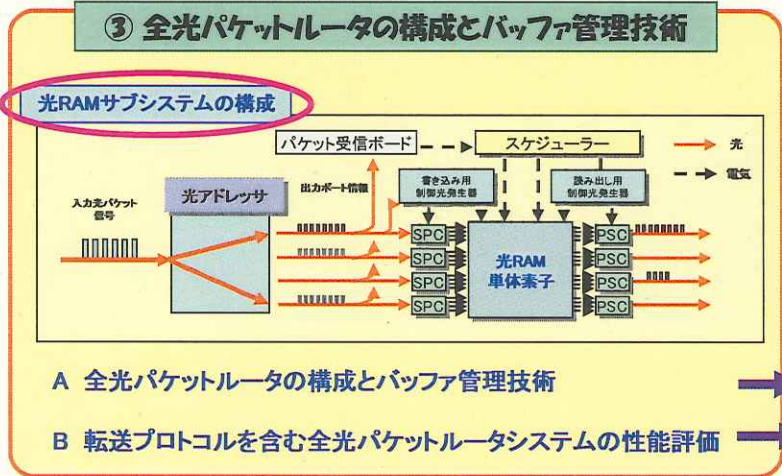
Alcatel-Lucent

Photonics Laboratories

NTT

日刊工業新聞(2009年9月18日)

③ 全光パケットルータの構成とバッファ管理技術の主な成果

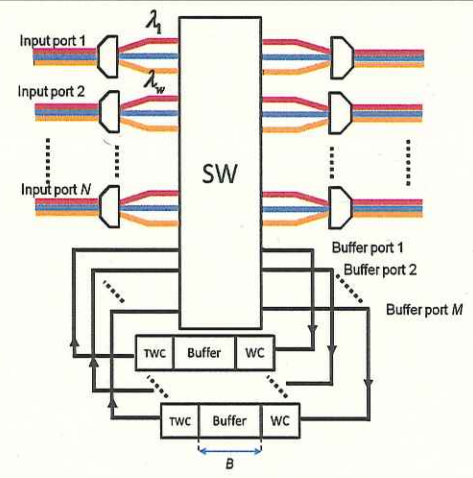
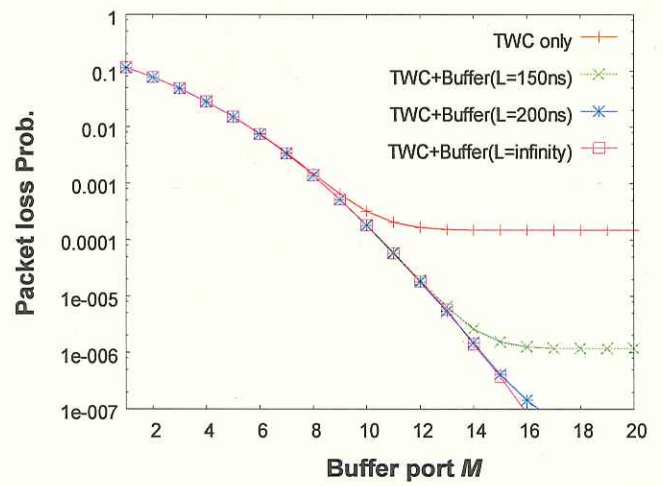


近年の小容量バッファを用いたパケット交換ネットワークの研究では、必要バッファ量は数十Mbyteオーダーである。しかし、数十Mbyteは光ビットメモリの集積規模としては依然として大きく、更なる容量削減が必要

●光RAMバッファおよび波長変換を組み合わせたパケットスイッチアーキテクチャを考案し、**光RAMを用いることで棄却率が2桁以上向上することを示した。**

●更なる棄却率向上のためには、光RAM素子において、ビットの保持時間を200ns以上の確保が必要であることを示した。

●制御理論に基づく最適レート算出機構 paced-XCPのパラメータチューニングにより、max-min fairnessを達成することを示した。



共有バッファ型、波長変換機能付き光パケットスイッチ

1. これまで得られた研究成果(特許出願や論文発表等)

| | 国内出願 | 外国出願 | 研究論文 | その他研究発表 | 報道発表 | 展示会 | 標準化提案 |
|--------------------------------|----------|----------|------------|------------|----------|-----------|----------|
| 全光パケットルータ実現のための光RAMサブシステムの研究開発 | 5 (3) | 0 (0) | 47 (26) | 50 (29) | 3 (1) | 10 (3) | 0 (0) |

(1) 表彰・受賞

1. 国際会議Internet 2009においてBest paper awardを受賞(光RAMを用いたスイッチアーキテクチャの比較評価に関する論文)(九州大学)

(2) 研究成果発表会等の開催について

1. 国際会議ECOC2009のワークショップ“Optics in Computing: How much is not enough?” に招待され、光RAMプロジェクトの研究成果をアピールした。本ワークショップでは、世界の主立った研究機関、IBMチューリッヒ研、英国Cambridge大 & Bristol大、米国Columbia大、サンマイクロにおける、ナノフォトニック技術をベースにしたコンピューティング & インタコネクタに関する研究活動が紹介され、将来の研究の方向性、潜在的なアプリケーションについて討論を深めた。本光RAMプロジェクトの発表に対して、世界でも例にないユニークかつチャレンジングな取り組みであるという高い評価を得た。
2. 国際会議ECOC2009併設の展示会で本年度のマイルストーンである光電子融合型RAMを組み込んだ光パケットルータの動態展示を行った。国内外の研究機関、大学、メーカーから多数の見学者が訪れ、光パケットルータの構成技術、要素光デバイス技術の高さが認知された。