

# 超低消費電力型光エレクトロニクス実装システム 技術開発プロジェクト(公開)

プロジェクトリーダー

東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構長

東京大学生産技術研究所

光電子融合研究センター長・教授

荒川 泰彦

Ⅲ. 研究開発成果

Ⅳ. 実用化・事業化に向けての  
見通し及び取り組み

Ⅲ. 研究開発成果

Ⅳ. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みに  
ついて

# 技術開発項目の関係

Ⅲ. 研究開発成果

Ⅳ. 実用化・事業化に向けての  
見通し及び取り組み

①光エレクトロニクス実装基盤技術の開発 ②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発

## 1-1 基盤要素技術

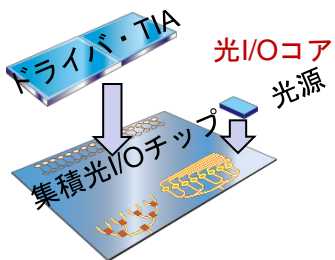
1-1-1 光エレクトロニクス  
集積デバイス技術

1-1-2 光エレクトロニクス  
実装技術

1-1-3 光エレクトロニクス  
回路設計技術

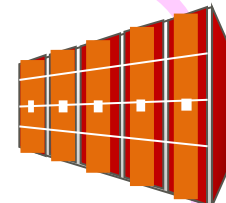
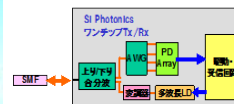
## 1-2 革新的デバイス技術

1-2 革新的デバイス技術



## 2-2-2 企業間ネットワーク接続

2-2 光電子集積  
光通信システム



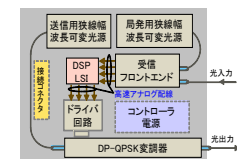
光電子集積サーバ  
によるデータセンター

2-2-1 データセンタ間  
ネットワーク接続

PON・WDM  
光トランシーバ

2-1-2 サーバボードシステム化/  
(CPU間光インターコネクト)

光電子集積  
インターポーザ



デジタルコヒーレント  
トランシーバ

光ケーブル  
付きLSI基板

小型光トランシーバ  
基板 (光I/Oコア)

2-1-1 ボード間・筐体間接続

アクティブ光ケーブル  
(AOC)

2-1 光電子集積  
サーバシステム

サーバボード

光I/O付LSI

光インターフェイス付  
SSD

2-3国際標準化

## ①光エレクトロニクス実装基盤技術の開発

### 1-1 基盤要素技術

テーマ	H26年末中間目標	主な成果状況	達成度
1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術	光信号の並列化技術、多重化技術を開発し、大容量信号伝送を実現する基盤要素技術を確立。低コスト化のための光素子の集積化技術と導波路技術を確立。	5mm角で <b>並列25Gbps×12chの送信・受信素子を開発、帯域密度で世界最高。世界最高の広帯域・平坦な4波長合分波器</b> の多重化技術を開発し、大容量伝送の基盤要素技術を確立。 <b>世界初のシリコン上小型リングレーザの10Gbps動作達成と、世界最高の低損失シリコン導波路(0.5dB/cm)を実証</b> 、低コスト化技術を確立。	○
1-1-2 光エレクトロニクス実装技術	小型の高速・低消費電力光トランシーバと数十mm角のポリマー光配線を形成した光電子ハイブリッド回路基板を開発し、光入出力を持つLSIを実現するための基盤技術を確立。	<b>既存の1/3の消費電力5mW/Gbps、25Gbps/ch、サイズ5mm角の光トランシーバを実証(世界一の帯域密度: 1.2Tbps/cm<sup>2</sup>)。96芯ポリマー光回路を持つ50mm角の光電子ハイブリッド回路基板を開発、1300nm帯の波長で25Gbps信号伝送を実証(世界初)</b> 、基盤技術を確立。	○
1-1-3 光エレクトロニクス回路設計技術	マルチフィジクス対応の光エレクトロニクス実装システム統合設計環境の基本構成を構築し、統合設計を行う基本的なフローの実証。光デバイス設計の基盤技術として、光変調器等の開発に適用可能な電子・光連携TCADの基本構造を確立。	<b>マルチフィジクス対応の光エレクトロニクス実装システム統合設計環境</b> の基本構成を開発し、統合設計を行うための基本的な実証フローを構築。また、光デバイス設計の基盤技術として、光変調器等の開発に適用可能な <b>電子・光TCADと電磁界シミュレータFDTDの連携機能</b> を強化し基本構造を確立。	○

達成度: ◎大幅達成、○達成(年度内達成見込みも含む)、△達成遅れ、×未達

# 研究開発成果と達成度について(2)

III. 研究開発成果

IV. 実用化・事業化に向けての  
見通し及び取り組み

## ①光エレクトロニクス実装基盤技術の開発

### 1-2 革新デバイス技術

テーマ	H26年末中間目標	主な成果状況	達成度
[革新的光源・光検出器技術]	温度安定シリコン上量子ドットレーザの基盤技術開発を進め、シリコン導波路結合型単チャンネル量子ドットレーザを実現。超高感度受光器の基盤技術として受光器における暗電流抑制効果を実証。	シリコン基板上量子ドットレーザの高温動作(110°Cまで)を実現。導波路構造上での量子ドットレーザの実現に成功(導波路結合:26年10月達成見込み)。また、 <b>プラズマ酸化で形成したGe酸化膜パッシベーションによるGe受光器の暗電流低減</b> を実証。基板貼り合せにより高品質Ge層をSi基板上に集積することに成功。	○
[革新的光変調器技術]	光電子集積サーバに使用する光電子集積インターポーザの光変調器の超小形化を可能とする新原理に基づく変調器として、10Gbps程度の高速動作を実現。	<b>フォトニック結晶スローライト変調器</b> を製作し、長さ100μm以下、電圧2V以下、消光比3dB以上の <b>10Gbps変調を実現</b> 。同様の変調が25Gbpsでも得られる見通し。	○
[革新的光配線技術]	光電子集積サーバの配線密度を飛躍的に高めることのできる3次元光配線技術において、層間方向への伝搬機能が可能であることを実証。	3次元フォトニック結晶の[110]方位導波路を用いることで帯域幅150nmの層間伝搬が可能であることを実証。また <b>2次元フォトニック結晶共振器</b> において <b>光子寿命7.5ns、Q値900万を達成</b> 。	○
[革新的光エレクトロニクス回路技術]	ハイブリッド回路基板上における半導体レーザの高効率化を行い、複数の光増幅器が並ぶアレイデバイスを実現。	<b>リング共振器装荷型半導体レーザの発振を達成</b> し、光増幅器アレイの利得も確認。中間目標に向け効率を向上(H26年12月達成予定)。	○
[革新的光スイッチングデバイス技術]	サーバ回路におけるデータ通信の高効率化を可能とする導波路クロスバー型をベースとした超小型光スイッチを試作し、スイッチング動作を実証し、超高速光信号処理デバイス実現にむけた基本的な論理動作を実現。	<b>シリコン光スイッチのための交差導波路の基本的な導波特性を達成</b> 。超高速光信号処理用量子ドット光増幅器で約30dBの高利得、約100fsの高速応答を達成。集積化のための組成混合によりリング共振器を実現。	○

達成度:◎大幅達成、○達成(年度内達成見込みも含む)、△達成遅れ、×未達

## 研究開発成果と達成度について(3)

III. 研究開発成果

IV. 実用化・事業化に向けての  
見通し及び取り組み

## ②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発

## 2-1 光電子集積サーバシステム

テーマ	H26年末中間目標	主な成果状況	達成度
2-1-1 ボード間接続機器、筐体間接続	小型光トランシーバを搭載したアクティブ光ケーブル(AOC)を完成させ、筐体間接続における実用性を実証する。また、標準化動向を考慮しながら、光トランシーバとロジックLSI間の電気伝送に関するインターフェース仕様を決定。	<b>AOC内に小型光トランシーバ(光IOコア)を内蔵</b> するための実装/光接続構造/冷却機構の開発完了。筐体間の25Gbpsでの光伝送を実証予定(H27年3月)。市場のAOC標準化動向に準じたLSIとの25Gbps高速電気インターフェース仕様を決定。	○
2-1-2 サーバボードのシステム化技術	光電子集積技術を最大限に活かすために光インターコネクションに要求される伝送スペック(変調速度、多重度、チャンネル数など)、および、光電子インターポーザの回路冷却に関する基本要件を明確化。  また、光電子集積インターポーザと積層型ストレージチップ実装基板からなるハイブリッド型の光インターフェース付きSSDを試作し、標準ストレージインターフェースによる光接続動作を検証。	25Gbps×4ch、12chを光IOコアに集積する基本スペックを決定。 <b>LSIとの25Gbpsの高速電気信号の伝送仕様、光電子集積インターポーザとしての冷却構造の基本要件を決定。</b> 総帯域Tbps超級の大容量信号を高密度伝送(800Gbps/cm)可能なCPU間光インターコネクトの基本要件は、CPUパッケージ基板上に光IOを搭載であることを明確化。 <b>CPU間の高密度伝送を想定した動作実証機を試作し、25Gbps動作を実証。</b>  光電子集積インターポーザと積層型ストレージチップ型SSDからなる <b>ハイブリッド型光I/O付きSSDを試作し、標準ストレージインターフェースによる光接続動作を検証。</b>	○

達成度：◎大幅達成、○達成(年度内達成見込みも含む)、△達成遅れ、×未達

## 研究開発成果と達成度について(4)

Ⅲ. 研究開発成果

Ⅳ. 実用化・事業化に向けての  
見通し及び取り組み

## ②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発

## 2-2 光電子集積光通信システム

テーマ	H26年末中間目標	主な成果状況	達成度
2-2-1 データセンタ間 接続機器のシス テム化技術	100Gbps動作に対応するDSP-LSIと集積光送 受信デバイスの試作。 それらを用いたトランシーバを試作し、デバイス 制御動作を検証するとともに改良・完成度向上 に向けた指針・フィードバック事項を抽出。	<b>世界初の20nmプロセスによる100Gbps動作のDSP-LSIを 設計・試作し、良好な動作を確認。</b> 従来比で、容積1/2以下の小型光源パッケージ、容積1/3 以下の光受信器モジュール化技術を確立。 <b>プラグブルCFPタイプの100Gbpsデジタルコヒーレントトラ ンシーバを試作し、従来比で容積1/2以下の小型化と従来 比1/3となる低消費電力化を実現。</b> 完成度向上に向けパラ メータ最適化指針を得。データセンタ間を想定した <b>70kmか ら840kmの伝送実験を行い、エラーフリー動作を確認。</b> 上記のデバイス・トランシーバの <b>早期事業化</b> 予定	◎
2-2-2 企業間ネット ワーク接続機器 のシステム化技 術	シリコン光導波路による波長合分波器を用いて 1.25Gbpsの一芯双方向光トランシーバを実証。	<b>双方向WDMフィルタは、1310nm帯アイソレーションでGE- PON規格を達成。アイソレータフリー光源は、伝送特性、反 射戻り光耐性共にGE-PON規格を達成。</b> 双方向光ラン シーバ用集積チップの作製は平成26年度末に試作・評価 を完了予定。	○

達成度：◎大幅達成、○達成(年度内達成見込みも含む)、△達成遅れ、×未達



## 研究開発成果と達成度について(5)

Ⅲ. 研究開発成果

Ⅳ. 実用化・事業化に向けての  
見通し及び取り組み

## ②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発

## 2-3 国際標準化

テーマ	H26年末中間目標	主な成果状況	達成度
2-3 国際標準化	<p>光インターコネクトに関する標準化団体 (OIF(Optical Networking Forum)、IEEE802.3 (Next gen 100G Optical Ethernet Study Group)) に参画し、「キーメンバーコミュニティ」おけるプ レゼンスを確立する。</p> <p>また、100Gbpsデジタルコヒーレント光トランシー バに関する標準化を推進。</p>	<p><b>Optical Networking Forum(OIF)及びIEEE802.3の 標準化に参加し、提案活動を通じてPETRAのプレゼンス を確立。</b>国内外主要ベンダーと共同でLSIと小型光トラン シーバのインターフェース仕様策定に参画。</p> <p><b>100Gbpsデジタルコヒーレント光トランシーバに関する 標準化については、OIFにおいて4インチx5インチ MSA(Multi-Source Agreement)トランシーバの標準化提 案を行い、標準化文書(IA: Implementation Agreement) のエディタを担当。同文書の発行(2013年8月)により標準 化に成功。</b>OIFでは、これまでに31件の寄書提案を行い、 100Gbpsデジタルコヒーレント技術の標準化を主導。</p>	○

達成度：◎大幅達成、○達成(年度内達成見込みも含む)、△達成遅れ、×未達



## 知財マネジメント

- 知財規程の制定。内閣府・最先端の知財を継承。
- プロジェクトIPは原則としてPETRAが管理し、参加企業保有のIPは、本成果の事業化推進のために実施許諾を前提
- 事業適合性判定（日本知財仲裁センター弁理士、弁護士23組）で、上記知財が国内関連特許（約15万件）に対し、「有効」裁定  
(H25年10月)

## オープン・ブラックボックス戦略

- 国際標準化： 光と電気のインターフェースの構造的な仕様
- 特許化： コア技術であるシリコンフォトニクスによる集積光回路と実装構造
- ノウハウとしてブラックボックス化： 主要実装構造の特許化と、製造方法を、固有の実装装置内に封じ込め、ブラックボックス化

(平成24年9月25日~平成26年8月末日集計分まで)

年度 (平成)	特許	外国出願 (内数)	論文等	国際/国内学会発表 (解説記事を含む)	標準化 寄与文書	新聞発表	主要展示会
計	36	13	6	52	37	7	
24年度	7	7	1	3	15	6	
25年度	23	6	2	16	13	0	CEATEC OFC2014
26年度	6	0	3	33	9	1	ICEP2014 SSDM2014

The 4<sup>th</sup> International Symposium on Photonics  
and Electronics Convergence (ISPEC2014)の  
東京大学との共同開催:2014年11月17-19日



# 成果の最終目標の達成可能性(中間)

Ⅲ. 研究開発成果

Ⅳ. 実用化・事業化に向けての  
見通し及び取り組み

## ① 光エレクトロニクス実装基盤技術の開発

テーマ	最終目標(2017)	達成見通し
1-1 基盤要素技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>複数のLSIを搭載可能な光電子集積インターポーザを実現するための基盤光電子集積技術を実現。</li> <li>5cm×5cm程度の光電子ハイブリッド基板上にLSIを搭載するモジュール化技術を確立。</li> </ul>	大規模光集積技術と狭ピッチ配線技術の開発による高密度化、要素光素子・駆動回路の特性改善と光学実装の低損失化による省電力化で、目標達成の見込み。実用化に向けて、CMOSファブのSiフォトリソグラフィ技術の立上げで高歩留り化と高信頼化達成。
1-2 革新的デバイス技術	各デバイスの最終目標を達成するとともに、光電子集積サーバ技術への展開の見通しを示し、事業化に対する課題を明確化。	中間目標の達成性をさらに展開するとともに、PETRA研究員との議論を重ね、サーバ技術への展開を図ることによって目標達成の見込み。

## ② 光エレクトロニクス実装システム化技術の開発

テーマ	最終目標(2017)	達成見通し
2-1 光電子集積 サーバシステム	<ul style="list-style-type: none"> <li>LSIと光トランシーバの接続構造を決定し、光電子集積サーバボードに必要な仕様を満たす光伝送を実証するとともに、光インターフェース付SSD技術を確立。</li> <li>シリコンフォトニクスによる波長多重PON技術を実証する。また、100Gbpsデジタルコヒーレントトランシーバにおいて、消費電力を30W程度まで低減できる技術を実現(2016年度まで)。</li> </ul>	試作の積み重ねによるデバイス性能の改良と実用化に向けたシステムの開発体制強化および性能要求のすり合わせを図りながらのコンカレントな開発を行うことによって、目標達成の見込み。
2-2 光電子集積 光通信システム		
2-3 国際標準化	<ul style="list-style-type: none"> <li>本プロジェクトの成果における各種インターフェース等の標準化提案活動を行い、実用化する開発成果の事業化に必要な標準を提案。</li> </ul>	本プロジェクトで製品化を推進している光電子集積サーバシステムと光電子集積光通信システムのインターフェース仕様を、戦略的に国際標準仕様(OIF、IEEE802.3)へ反映させる活動を継続することで、国際標準化の目標達成の見込み。

# 1 実装基盤技術

2-3 国際標準化

## ② 光エレクトロニクス実装システム化技術の開発

### 2-1 光電子集積サーバシステム

CPU間光インターコネク

CPU/記憶素子間光インターコネク

ボード間・筐体間接続

### 2-2 光電子集積光通信システム

データセンタ間ネットワーク接続

企業間ネットワーク接続

## ① 光エレクトロニクス実装基盤技術の開発

### 1-1 基盤要素技術

#### 光エレ・実装技術

光電子ハイブリッド回路基板

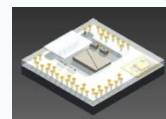
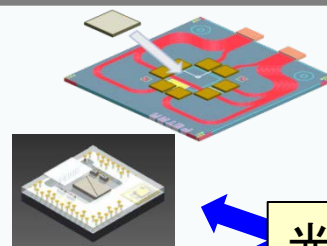
超小型光トランシーバ

#### 光エレ・集積デバイス技術

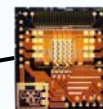
多並列・多重化技術

高密度・低コストインターポーザ技術

超低消費電力・高密度デバイス技術



#### 光エレ・回路設計技術



#### プロセス統合化基盤技術

### 1-2 革新的デバイス技術

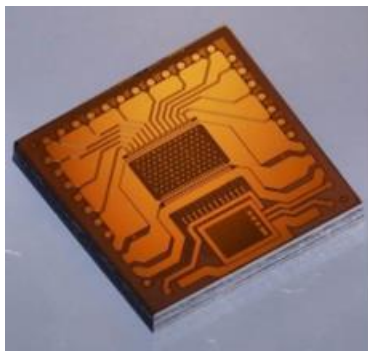
## 1-1 基盤要素技術

Ⅲ. 研究開発成果

Ⅳ. 実用化・事業化に向けての  
見通し及び取り組み1-1-1 光エレクトロニクス  
集積デバイス技術

## 多並列 / 多重化技術

## 12チャンネル集積光I/Oチップ

12チャンネル集積  
光I/Oチップ(送信)

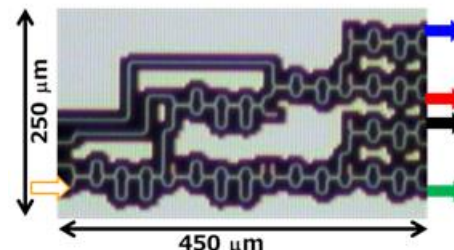
小型チップサイズ5 × 5 mmでスループット  
300Gbpsの集積光I/Oチップを実現  
光デバイスを、**従来比1/2の狭ピッチ集積化**

12チャンネル集積  
光I/Oチップ(受信)

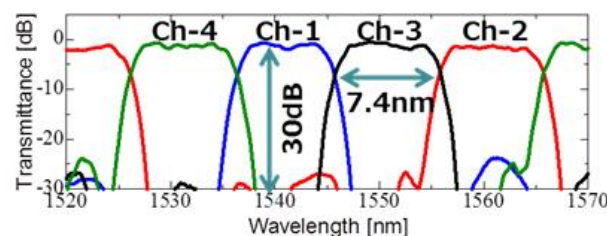
## 4波合分波器

## 多段化による平坦化・低クロストーク化

液浸ArF露光での高  
精度プロセスで低位  
相誤差を実現  
⇒フィルタの多段化が  
可能に



## 広帯域平坦なスペクトルを持つ4波長分波動作



透過帯域幅が  
**世界最高**  
⇒広い温度で  
使用可能

## 目標の達成度

光信号の並列化、多重化技術を開発し、大容量信号伝送の基盤要素技術を確立。**中間目標達成。**

## 事業化の見通しと取り組み

超小型光ランシーバ(光I/Oコア)として、PETRA  
での事業化を計画。

システム化技術でプロトタイプを開発。事業化は  
富士通事業部門と議論中。

## 1-1 基盤要素技術

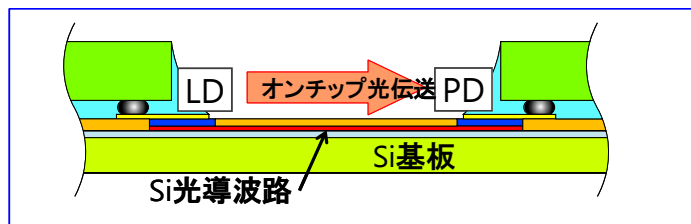
III. 研究開発成果  
IV. 実用化・事業化に向けての  
見通し及び取り組み

## 1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術

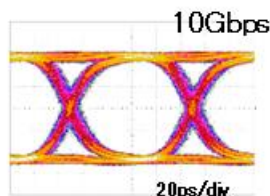
## 高密度・低コストインターポーザ技術

## 小型光素子のSi上集積化技術

化合物半導体レーザ・受光器のSi基板への集積



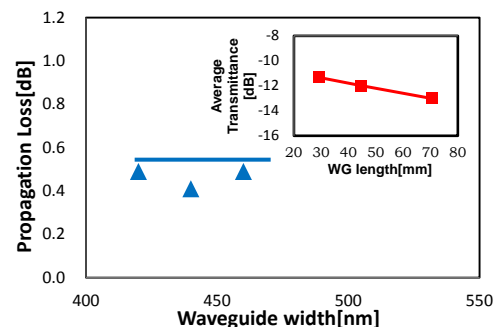
小型リングレーザの10Gbps変調動作



Si上の小型  
リングレーザ  
の10Gbps動作  
は**世界初**

## プロセス統合化基盤技術

## CMOSプロセスでの集積光素子

300mmSi-CMOSプロセスによるシリコンフォトニクス  
高性能化

液浸ArF露光による高精度、高均一プロセスによる低  
損失化  
伝搬損失<0.5dB/cmは**世界最高**

## 目標の達成度

高密度・低コスト化のための光素子の集積化技術と導波路技術を確立。**中間目標達成。**

## 事業化の見通しと取り組み

機器内、チップ間、チップ内に広範囲に適用できる技術として、実用化、事業化を目指す。

PJが目指す事業化シナリオに対応できる集積光 I/Oチップの大規模集積化技術を構築、集積光 I/Oチップを用いる装置の事業化に貢献。



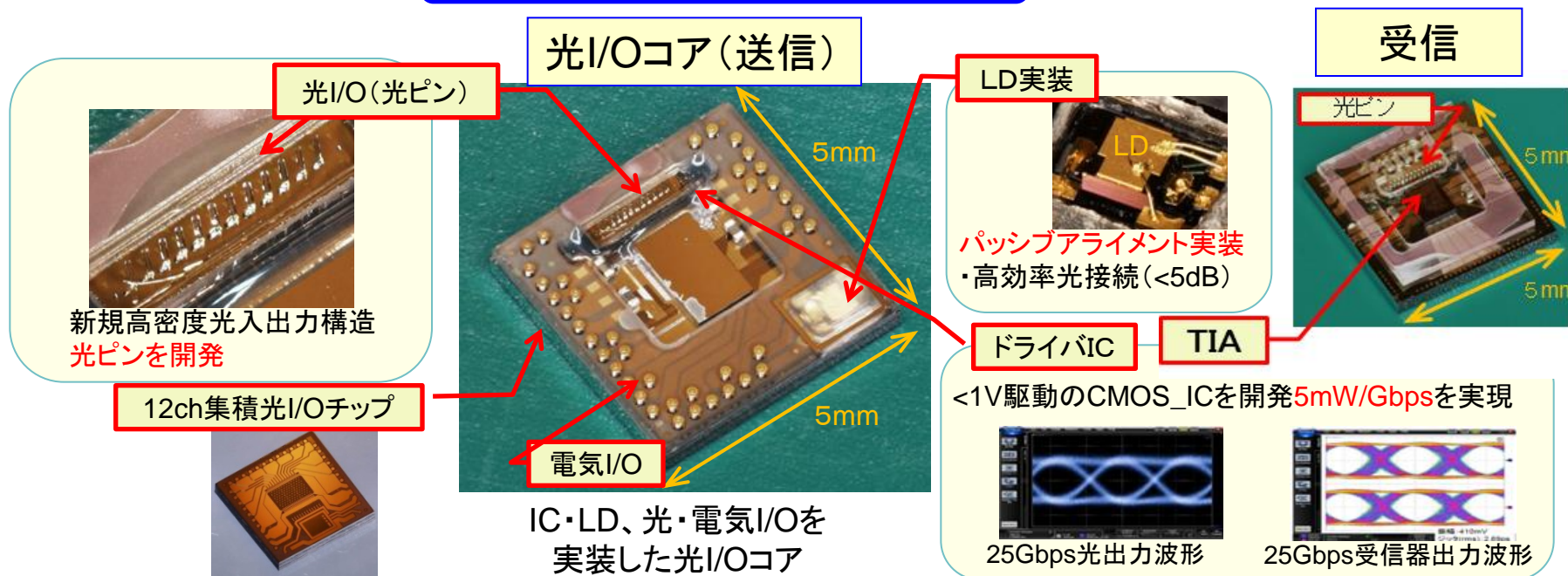
## 1-1 基盤要素技術

Ⅲ. 研究開発成果

Ⅳ. 実用化・事業化に向けての  
見通し及び取り組み1-1-2 光エレクトロニクス  
実装技術

## 超小型光トランシーバ技術

## 実装技術(光I/Oコア)



- ・サイズ5×5mmの25Gbps×12chの光トランシーバを実現(世界一の帯域密度1.2Tbps/cm<sup>2</sup>)
- ・消費電力5mW/Gbpsは、他で発表の光トランシーバの1/3の低消費電力化達成

## 目標の達成度

小型の高速・低消費電力光トランシーバを開発し、光入出力を持つLSIを実現するための基盤技術を確立。中間目標を達成。

## 事業化の見通しと取り組み

H27年度に、光トランシーバ(光I/Oコア)を製品レベルで完成させ、PETRAで事業化を計画。



## 1-1 基盤要素技術

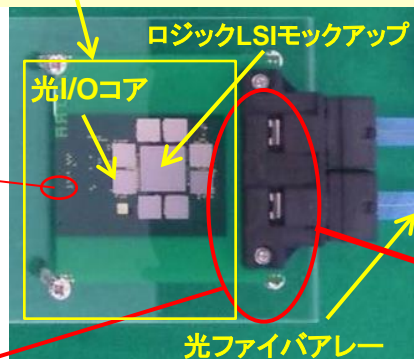
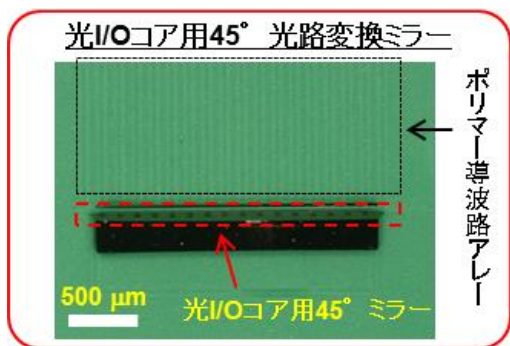
Ⅲ. 研究開発成果  
 IV. 実用化・事業化に向けての  
 見通し及び取り組み

1-1-2 光エレクトロニクス  
実装技術

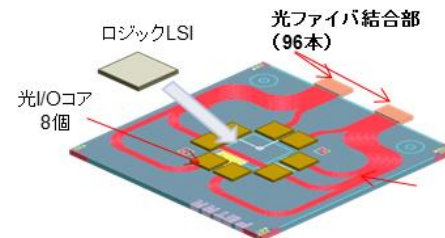
## 光電子ハイブリッド回路基板技術

## ポリマー導波路配線技術

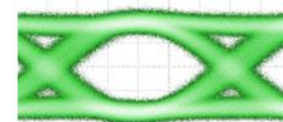
## 光電子集積パッケージ基板



## 光I/O付LSI基板 (H29目標)



## 光電子集積パッケージ基板内伝送



25Gbps/chの伝送を達成

## 光コネクタ部分の96芯ポリマー(2.4Tbps)導波路アレイの断面写真



- ・LSI基板に光I/Oコア接続用のポリマー光導波路を形成(光電子集積パッケージ基板)
- ・50mm角で96芯のポリマー光導波路(2.4Tbps/基板)を開発、25Gbps/ch伝送を達成

## 目標の達成度

数十mm角のポリマー光配線を形成した光電子ハイブリッド回路基板を開発し、光入出力を持つLSIを実現するための基盤技術を確立。**中間目標達成。**

## 事業化の見通しと取り組み

光I/Oコアを複数個搭載した大容量(2.4Tbps)光配線が可能な、光I/O付LSI搭載基板として、FPGAを始めロジックLSIとの接続実証を行い、H29年度までに実用レベルの技術を完成させる。

## 1-1 基盤要素技術

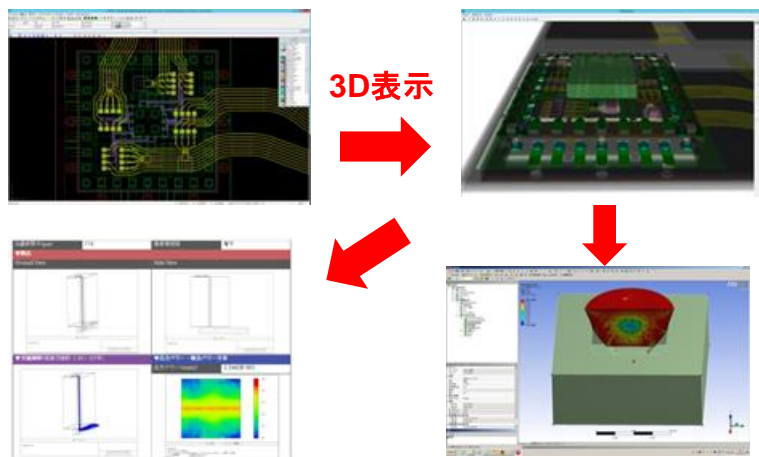
Ⅲ. 研究開発成果

Ⅳ. 実用化・事業化に向けての  
見通し及び取り組み1-1-3 光エレクトロニクス  
回路設計技術

## 光エレクトロニクス回路設計技術

## 実装設計環境構築

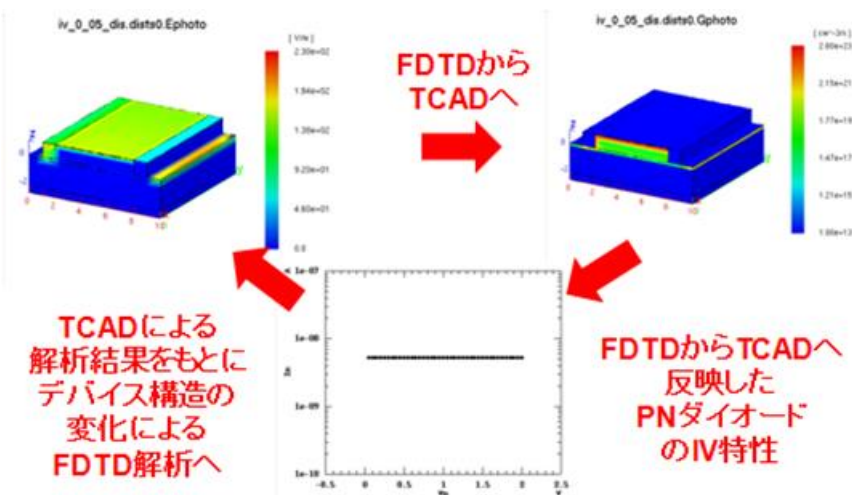
マルチフィジクス対応の統合設計環境基本構成を構築



光源・光路解析ソフトウェア、構造・伝熱・熱流体解析ソフトウェア等との連携

## 光I/Oコア搭載用光デバイス設計ツール開発

電磁界シミュレータと電子デバイス三次元TCADを連携させた電子・光連携TCADの基本構造を確立



## 目標の達成度

- ・統合設計環境の基本構成構築、これを用いた統合設計の基本的実証フローを構築。中間目標達成。
- ・光変調器等の開発に適用可能な電子・光連携TCADの基本構造を確立。中間目標達成。

## 事業化の見通しと取り組み

- ・PJ内での光デバイス、光エレクトロニクス実装システム設計での活用へ向け連携。
- ・PJ開発デバイス解析に必要な機能を構築し、プロジェクト成果活用企業の競争力強化に資する。

# 1-2 革新的デバイス技術

III. 研究開発成果

IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み

## 革新的光エレクトロニクス回路技術

### 機能可変型光エレクトロニクス回路基盤技術

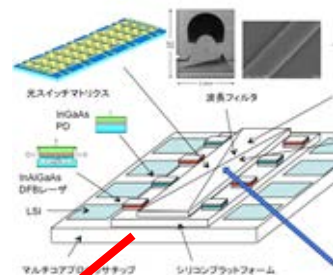
- ・回路規模の小型化
- ・超高速信号処理



## 革新的光スイッチングデバイス技術

### ハイブリッド集積光スイッチングデバイス技術

- ・エクサスケールのプロセッサでホップ数の大幅削減



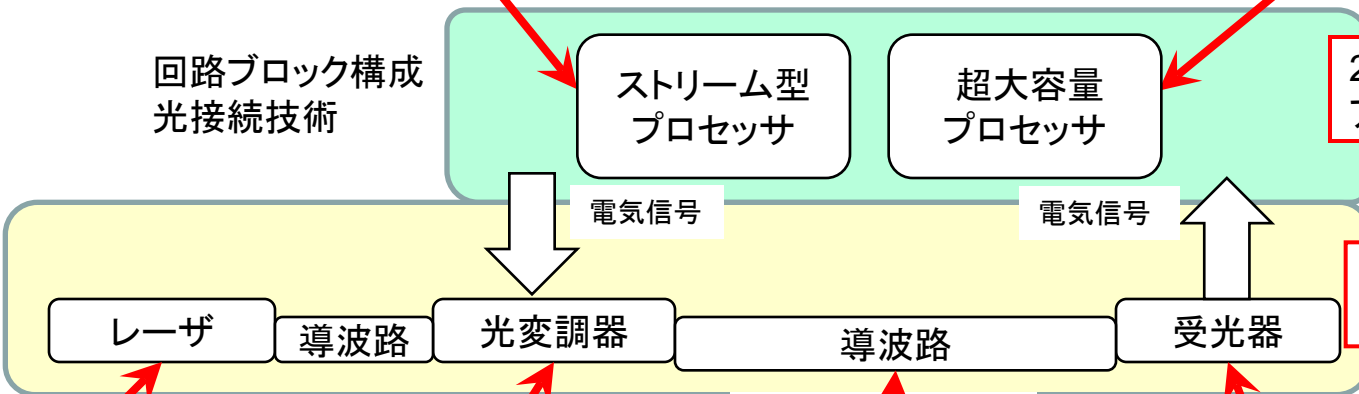
### 回路ブロック構成光接続技術

ストリーム型プロセッサ

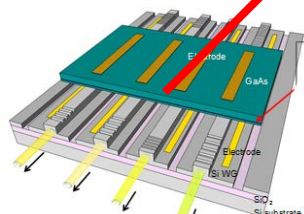
超大容量プロセッサ

2020年代のアーキテクチャ

### 基本光回路(デバイス)



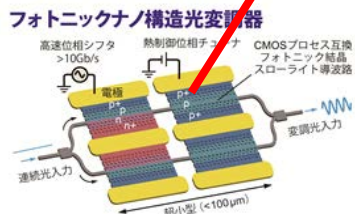
2020年代の高密度デバイス



### 革新的光源技術

#### シリコン上量子ドットレーザ技術

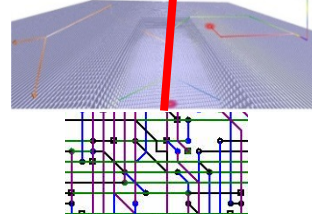
- ・高温での安定動作
- ・超小型化、超高密度化が可能



### 革新的光変調器技術

#### ナノ光制御デバイス技術

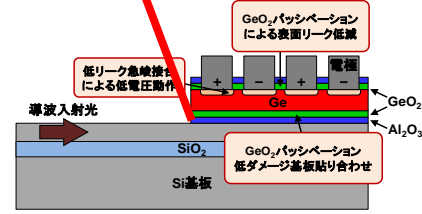
- ・変調器の超小型化
- ・多波長、多値伝送対応



### 革新的光配線技術

#### ナノスケール光配線基盤技術

- ・光可変遅延・再生増幅
- ・3次元の多層配線技術



### 革新的光検出器技術

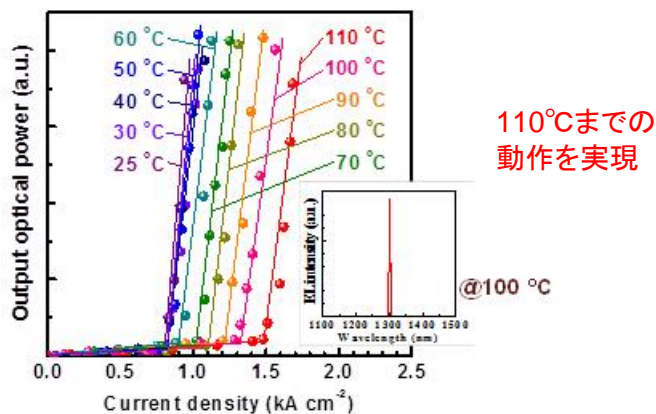
#### IV族フォトニックデバイス技術

- ・超高感度化
- ・超小型化

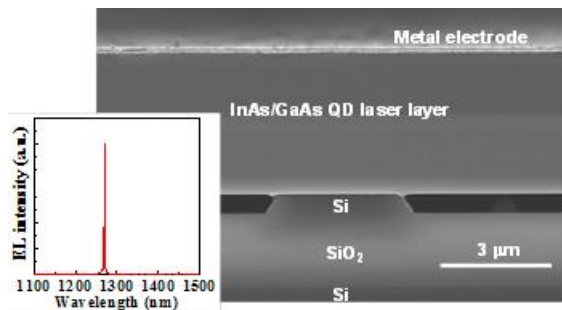
## 1-2 革新的デバイス技術

## 革新的光源技術(東京大学・荒川Gr)

シリコン基板上の量子ドットレーザにおいて100°C以上の動作を達成



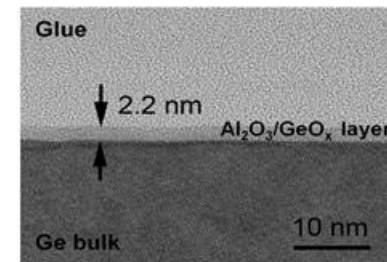
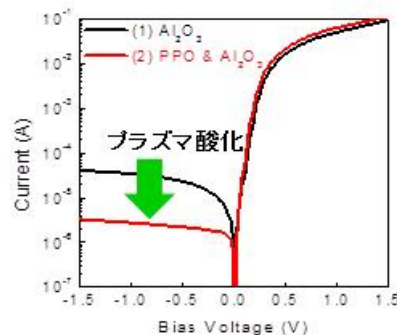
シリコン導波路構造上の量子ドットレーザを実現



- ・中間目標(温度安定動作): 達成済み
- ・中間目標(Si導波路結合型単チャンネルQDレーザ): 現在試作中。H26年度内に達成見込み

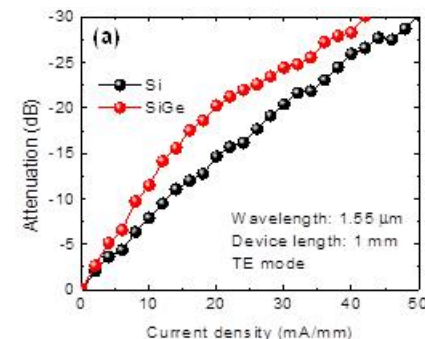
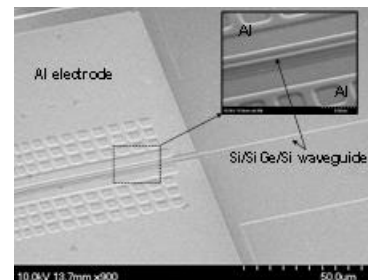
## 革新的検出器技術(東京大学・竹中Gr)

プラズマ酸化によるGe受光器の暗電流低減実証



表面リーク電流1  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以下

歪SiGe変調器の低電流駆動を実現



- ・中間目標(暗電流抑制効果実証)を達成
- ・基板貼り合わせを用いて、高品質Ge-on-Si基板を実現してゆく。
- ・Si以下の低電流駆動を達成
- ・歪SiGeを用いた屈折率変調増大を実証し、屈折率変調型デバイスを実現してゆく。

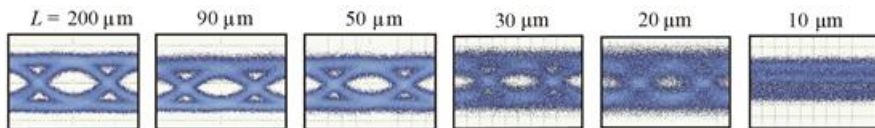


## 1-2 革新的デバイス技術

## 革新的変調器技術(横浜国立大学)

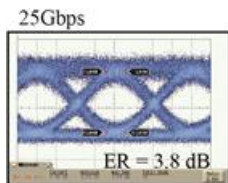
## 超小型フォトニック結晶変調器の10 Gbps動作

16 nmを超える波長範囲, 100 Kを超える温度範囲での動作も可能



長さ~100μm、電圧&lt;2V、波長幅&gt;10 nmで&gt;10 Gbps動作

## 損失を許容すれば25 Gbpsも可能

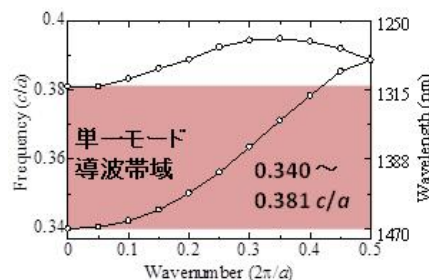
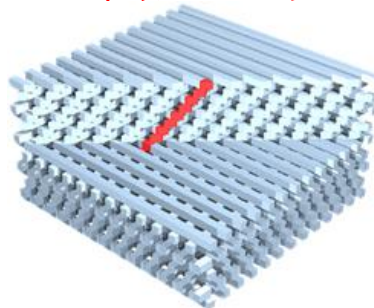
7 dBの付加損失で $V_{pp} = 1.5$  Vでも消光比 >3 dB

- ・中間目標(小型高速動作)達成
- ・低損失・低電圧で28Gbps変調、実用への課題解決

## 革新的光配線技術(京都大学)

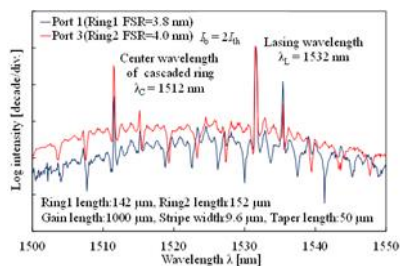
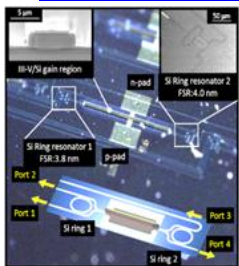
## 三次元光配線技術: 広帯域層間光伝搬の実証

帯域100nm以上



- ・中間目標(層間方向への伝搬機能を実現)達成
- ・Q値900万も達成(世界最高値)

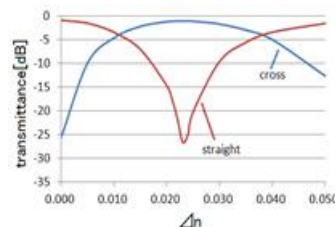
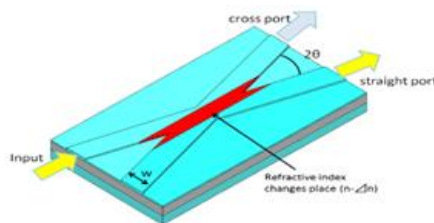
## 革新的光エレクトロニクス回路技術(東京工業大学)

プラズマ活性化接合による  
ハイブリッドインラインSOA/LDアレイ

- ・素子作製と発振特性の確認に成功→中間目標(ハイブリッド基板上集積素子の実現/高効率化)達成見込み
- ・高効率化とスペクトル安定化に向け、プロセスを改良していく。

## 革新的光スイッチングデバイス技術(早稲田大学)

## オフセットフリー低消費電力小型シリコン光スイッチ



- ・2x2構造交差導波路による導波確認→中間目標(クロスバー型超小型光スイッチ実証)達成見込み
- ・低クロストーク化、ナノ秒高速動作化、そして4x4以上の多ポート化に向けて、素子構造の改善を図る。

# 2 システム化技術

2-3 国際標準化

## ②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発

### 2-1光電子集積サーバシステム

CPU間光インターコネクト

CPU/記憶素子間光インターコネクト

ボード間・筐体間接続

### 2-2光電子集積光通信システム

データセンタ間ネットワーク接続

企業間ネットワーク接続

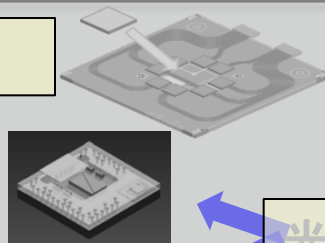
## ①光エレクトロニクス実装基盤技術の開発

### 1-1基盤要素技術

光エレ・実装技術

光電子ハイブリッド回路基板

超小型光トランシーバ



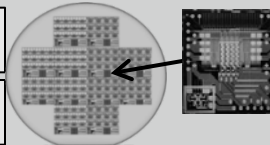
光エレ・回路設計技術

光エレ・集積デバイス技術

多並列・多重化技術

高密度・低コストインターポーザ技術

超低消費電力・高密度デバイス技術



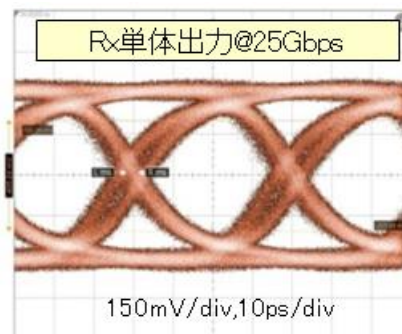
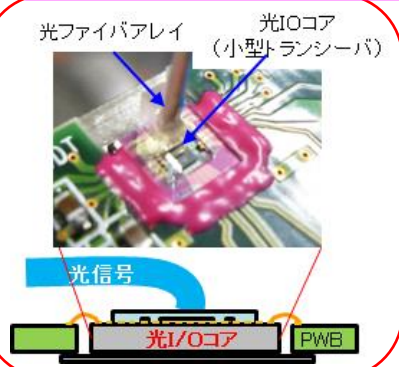
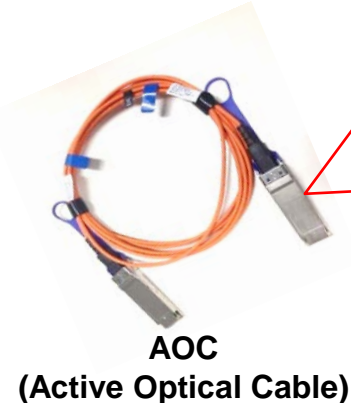
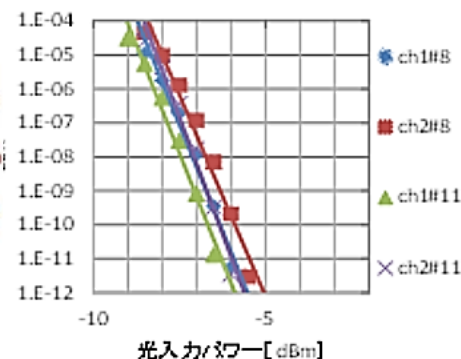
プロセス統合化基盤技術

### 1-2革新的デバイス技術

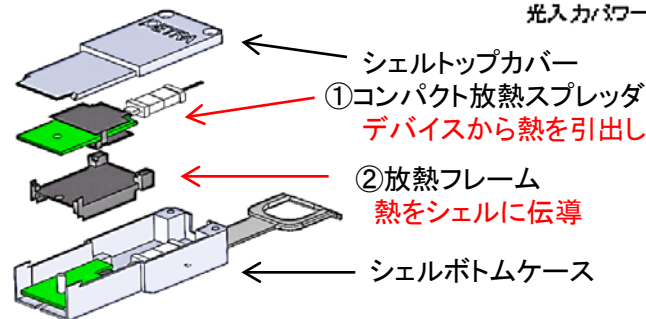
## 2-1光電子集積サーバスシステム

## 2-1-1 ボード間接続機器、筐体間接続

## アクティブオプティカルケーブル(AOC)

1ch動作時BERサンプル比較  
(25 Gbps @ PN31)

- ✓ ボード間を接続するAOCに搭載する光I/Oコア(Rx)で25Gbpsエラーフリー動作を確認
- ✓ 消費電力は約2.8mW/Gbps/ch@Rx
- ✓ 高効率冷却性能を持つAOCシェル開発



## 目標の達成度

・光I/Oコア内臓のAOCを実現する実装/光接続構造/冷却機構の要素技術を開発し、H26年度中に筐体間伝送実証(中間目標達成予定)。標準化動向に準じた高速電気インターフェース仕様を決定。

## 事業化の見通し

AOC市場は2016年時点で180億円と予想、PETRAの低電力・高信頼性AOCの競争力は高い。2016年度事業化に向け、つくば集中研と連携し開発推進中。



## 2-1光電子集積サーバシステム

III. 研究開発成果

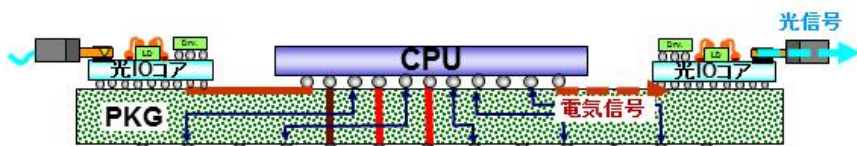
IV. 実用化・事業化に向けての  
見通し及び取り組み

## 2-1-2 サーバボードのシステム化

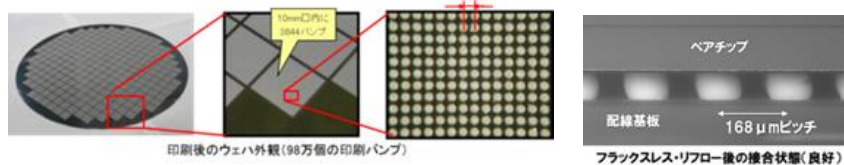
## CPU間光インターコネク

## 要素技術開発

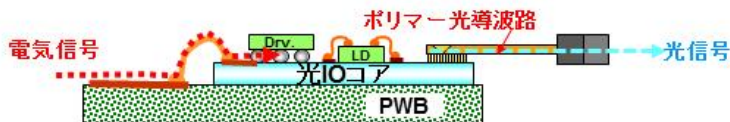
光I/Oコア付LSI、光電子集積インターポーザ実現のための要素技術開発開始



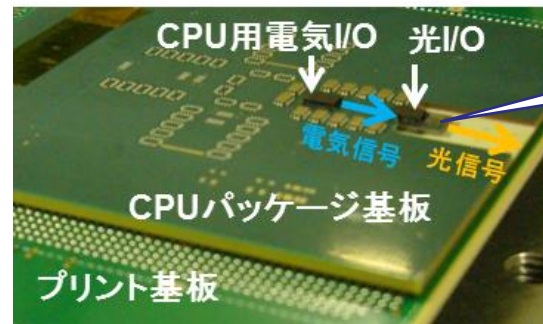
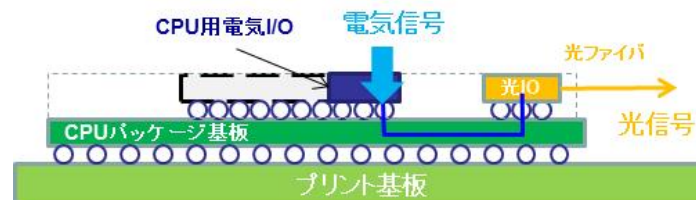
・微細半田供給技術、フラックスレス接合プロセス開発



・ポリマー光導波路の光I/Oコア接続の課題を抽出



## 基本設計

高密度伝送(800Gbps/cm)可能な  
CPU間光インターコネクの基本設計完了

25Gbps動作実証

シリコン  
フォトニクス  
チップ

## 目標の達成度

・光インターコネクの伝送スペックの決定と要素技術の開発を開始。**中間目標達成。**

## 事業化の見通しと取り組み

CPU間を高バンド幅で接続する光電子集積インターポーザは必須、成果をサーバ事業部門展開、採用を検討中。

## 目標の達成度

・CPU間の高密度伝送を可能とする光インターコネクの基本要件を決定。**中間目標達成。**

## 事業化の見通しと取り組み

ハイエンドサーバ向けの事業化について富士通グループの事業部門と議論中。

## 2-1光電子集積サーバシステム

Ⅲ. 研究開発成果

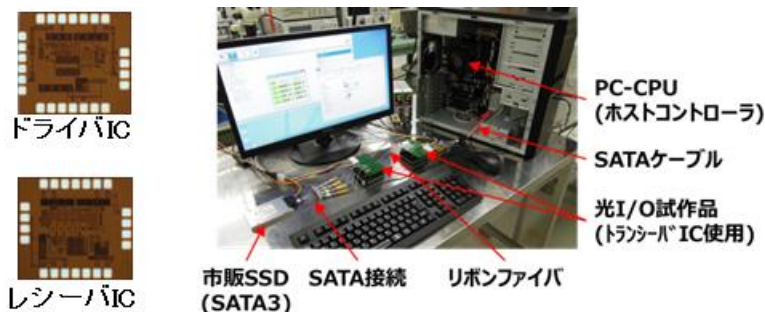
Ⅳ. 実用化・事業化に向けての  
見通し及び取り組み

## 2-1-2 サーバボードのシステム化

## CPU/記憶素子間光接続

## 光I/O付SSD用光インターフェース

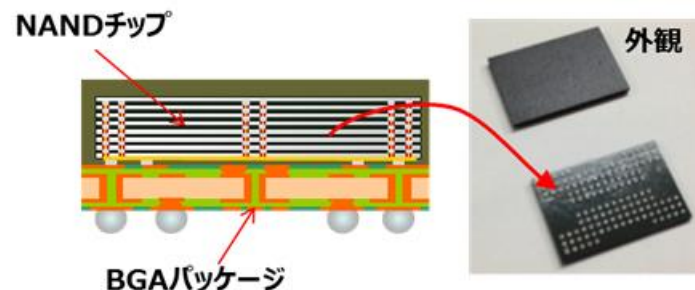
標準ストレージインターフェース (SATA)  
規格での市販SSDの光I/O動作を達成



ストレージインターフェース向け光素子駆動ICを試作し、光I/OによるSATA規格信号をPC/SSD間で転送

## 光I/O付SSD用積層型NANDチップ

積層チップ型NAND (TSV接続) の  
データ書き込み/読出し初期動作を達成



評価ボード(BGAソケット実装)にて、メモリブロックのデータ消去/書き込み/読み込みシーケンスを検証

## 目標の達成度

光電子集積インターポーザと積層型ストレージチップ型SSDからなるハイブリッド型光I/O付きSSDを試作し、標準ストレージインターフェースによる光接続動作を検証。**中間目標達成。**

## 事業化の見通し

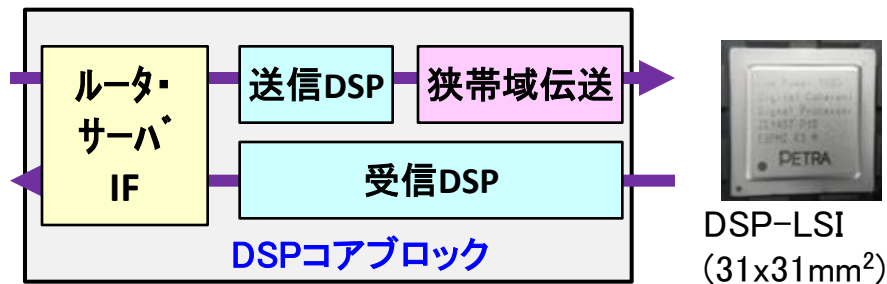
積層チップ型NANDによる高速低消費電力ストレージは、データセンタサーバ、クラウドストレージでの要求が高い。PJ中に派生品となる電気I/O-SSD、PJ開発後に光I/O-SSDの事業化を検討中

## 2-2 光電子集積光通信システム

## 2-2-1 データセンタ間ネットワーク接続

## DSP-LSI

- ・ルータ・サーバ機器間インタフェース技術、狭帯域化伝送技術、低電力化技術を統合し、20nm CMOSプロセスを用いたDSP-LSI試作完了
- ・**100Gbps** DP-QPSK光変調方式による伝送特性(伝送距離840km)を確認



## 集積光デバイス

- ・部品の小型化・近接配置、超高精度実装技術を開発し、従来デバイスから**機能削減なしに容積比1/2以下の小型化を実現**
- ・従来サイズのデバイスと遜色ない特性(線幅・受信特性)を確認

送信用  
8 × 15.25  
× 6.2mm



受信用  
16 × 30  
× 5 mm



## 目標の達成度

- ・**世界で初めて**20nm CMOSプロセスを用いて100Gbps動作に対応するDSP-LSIの設計・試作を行い**良好な動作確認: 中間目標達成。**
- ・100Gbps集積光送受信デバイスの試作し、従来比で、容積1/2以下の小型光源パッケージ、容積1/3以下の光受信器モジュール化技術を確立。**中間目標達成。**

## 事業化の見通し

100Gbpsの外部動向を鑑み、これまでの成果に基づき、電源変動・環境温度変動等の実使用環境を考慮した実用化開発、信頼性評価を行い、**早期に事業化を行う見込み(平成27年1月予定)。**

## 2-2 光電子集積光通信システム

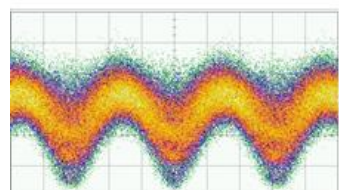
## 2-2-1 データセンタ間ネットワーク接続

## デジタルコヒーレントトランシーバ

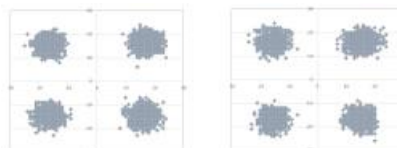
- データセンタ内で使用されているクライアント信号接続用CFP 100Gトランシーバの標準規格にDSP-LSI、送受信光デバイスを搭載。データセンタ間相当距離を伝送し、エラーフリー動作を確認。



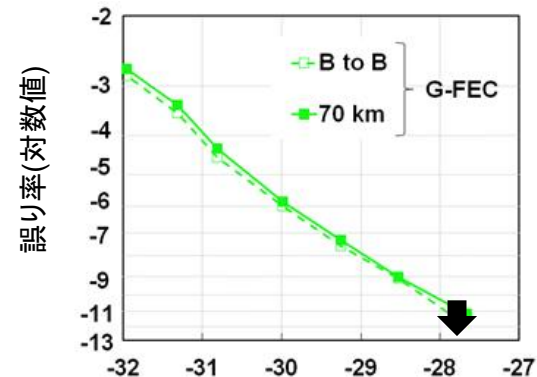
光送信デバイス 光受信デバイス DSP  
試作CFPトランシーバ内部構造



伝送速度: 32GBaud  
送信光波形



X Pol. Y Pol.  
受信コンスタレーション



受信光パワー(dBm)

受信誤り率特性

## 目標の達成度

- プラグブルCFPタイプの100Gbpsデジタルコヒーレントトランシーバを試作し、従来比で容積1/2以下の小型化と従来比1/3となる低消費電力化を実現。**中間目標達成**
- 世界で初めて**デジコヒCFPトランシーバを学会発表(OECC2014 post deadline paper)。

## 事業化の見通し

100Gbpsの外部動向を鑑み、これまでの成果に基づき、電源変動・環境温度変動等の実使用環境を考慮した実用化開発、信頼性評価を行い、**早期に事業化**を行う見込み(平成27年1月予定)。



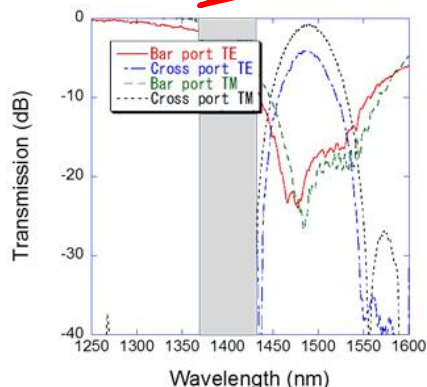
## 2-2 光電子集積光通信システム

## 2-2-2 企業間ネットワーク接続機器

## 双方向波長合分波器

上下方向波長の分離特性でGE-PON規格を達成。

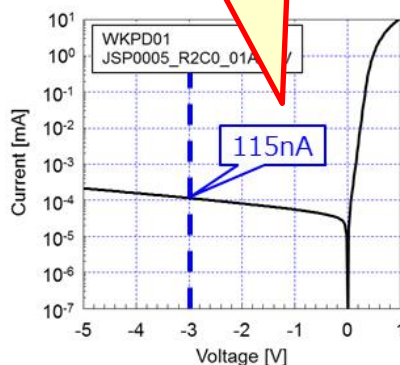
世界初



## Ge受光器

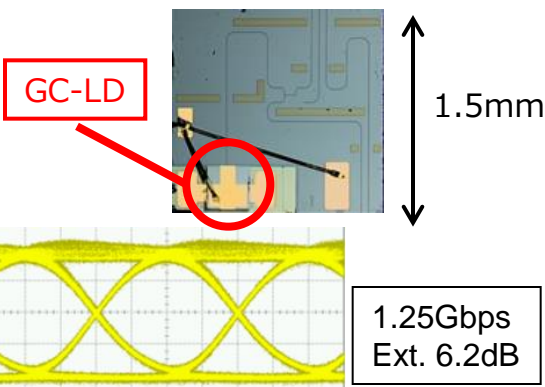
低暗電流と偏波無依存受光感度特性を達成し、GE-PON適用にめど。

世界トップレベル

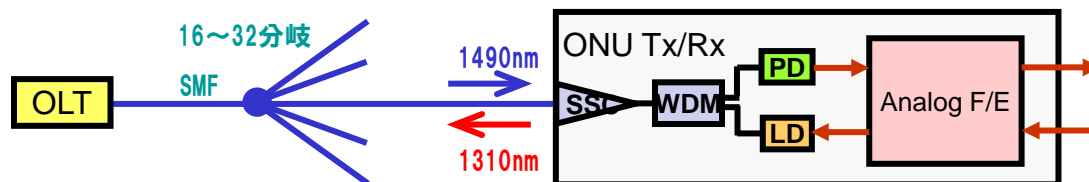


## アイソレータフリーDFB-LD

Siフォト集積チップ上にLDを実装し、GE-PON伝送規格を達成。



1.25Gbps  
Ext. 6.2dB



## 目標の達成度

・要素デバイスのGE-PON規格対応にめど。H26年度中に双方向プロトタイプで試作。中間目標達成見込み。

## 事業化の見通し

蕨分室事業部門でのES(平成27年度)、CS(平成28年度)評価を元に実用化開発を進める。

## 2-3国際標準化

## 2-3 国際標準化

成果のポイント

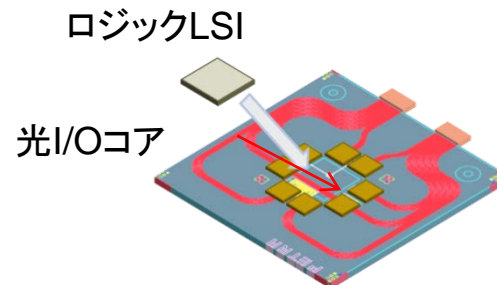
- ・プロジェクトで製品化を推進している仕様を、戦略的に国際標準仕様（OIF、IEEE802.3）へ反映させ、国際市場での競争力を高める。

2-3-1 光電子集積サーバシステムに関連する標準化

## 活動内容

- ・ OIFでパッケージ仕様/データを世界に先駆けて提案
- ・ IEEE802.3でデータセンタ向け光ファイバ（波長、光モード等）の提案活動を開始

成果： 寄書6件

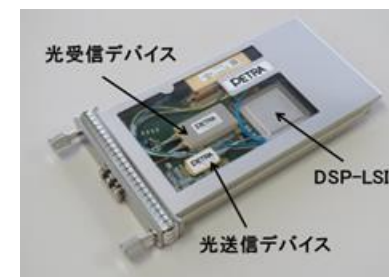
2-3-2 光電子集積光通信システム( デジタルコヒーレント・ トランシーバ ) 標準化

## 活動内容

- ・ 100Gデジコヒトランシーバ（データセンタ、メトロ向け）
- ・ 100Gデジコヒ用DSP、光送受信デバイス（データセンタ、メトロ向け）

成果： 標準化文書（Implementation Agreement）：1件

寄書： 46件（先導研究時の寄書15件を含む）



## 目標の達成度

- ・標準化に参加し、提案活動を通じてPETRAのプレゼンスを確立。**中間目標達成。**
- ・100Gbpsデジコヒ光トランシーバに関する標準化については、OIFにおいて4インチ×5インチトランシーバの標準化・提案を行い、同文書の発行(2013年8月)により標準化に成功。**中間目標達成。**

# 技術開発成果の事業化構想

Ⅲ. 研究開発成果

Ⅳ. 実用化・事業化に向けての  
見通し及び取り組み

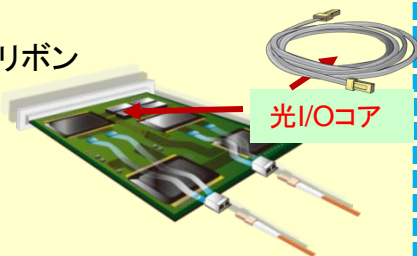
- 新会社と組合員企業により、実装部品とシステムの二方向から事業化を推進

## <PETRAの一部を分割し新会社による事業化> <技術開発成果を用いた組合員企業による事業化>

新会社が関係業界と連携して事業化

### 第一期:光I/Oコア

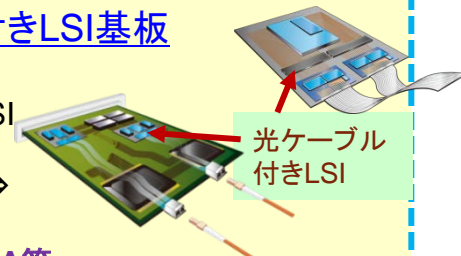
電気コネクタ+ファイバリボン  
⇒マイクロAOC



プリント基板内展開 ⇒

### 第二期:光ケーブル付きLSI基板

専用LSIを実装して  
⇒光ケーブル付きLSI

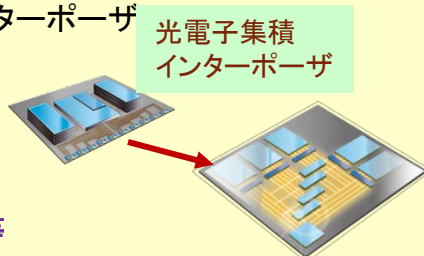


プリント基板内展開 ⇒

⇒ 高速・大容量FPGA等

### 第三期:光電子集積インターポーザ

高速LSI出力を光化してボードへ出力  
⇒光電子集積インターポーザ



規模の拡大 ⇒

⇒ サーバボード等

新会社が供給する実装部品を活用した装置を事業化

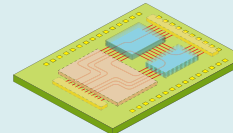
### データセンタ用ストレージ/サーバ 光ネットワークユニット



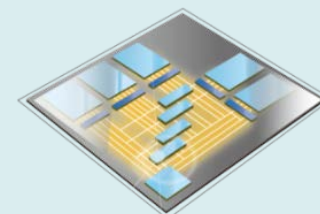
従来の  
卓上ONU



超小型  
ONU



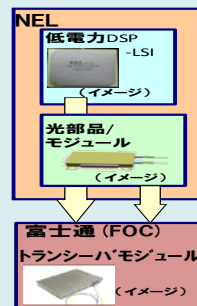
光I/O付SSD



サーバ等

分散研で開発した信号処理LSI、トランシーバを5年を目途に事業化

### 低電力デジタルコヒーレント信号処理LSI 集積形送受信デバイス/100Gトランシーバ



モジュールベンダ  
(国内・海外)

装置ベンダ  
(国内・海外)

データセンタ  
事業者(国内・海外)



ソリューション・  
プロバイダー  
(国内・海外)



キャリア  
(国内・海外)



# (ご参考)発表の構成と実施方針の対応

発表説明の研究開発項目	実施方針の研究開発項目
①光エレクトロニクス実装基盤技術の開発	①光エレクトロニクス実装基盤技術の開発
1-1 基盤要素技術 1-1-1 光エレクトロニクス集積デバイス技術	(i)実装基盤技術 (b)光エレクトロニクス集積デバイス技術
1-1-2 光エレクトロニクス実装技術	(a)光エレクトロニクス実装技術
1-1-3 光エレクトロニクス回路設計技術	(d)光エレクトロニクス回路設計技術
1-2 革新的デバイス技術	(ii)革新的デバイス技術
②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発	②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発
2. システム化技術 2-1 光電子集積サーバシステム	(i)システム化技術 (b)ボード間接続機器、筐体間接続機器のシステム化技術開発 (a)サーバボードのシステム化技術開発
2-2 光電子集積光通信システム	(i)実装基盤技術 (c)光エレクトロニクスインターフェイス技術 (c)データセンタ間接続機器のシステム化技術開発 (d)企業間ネットワーク接続機器のシステム化技術開発
2-3 国際標準化	(ii) 国際標準化