

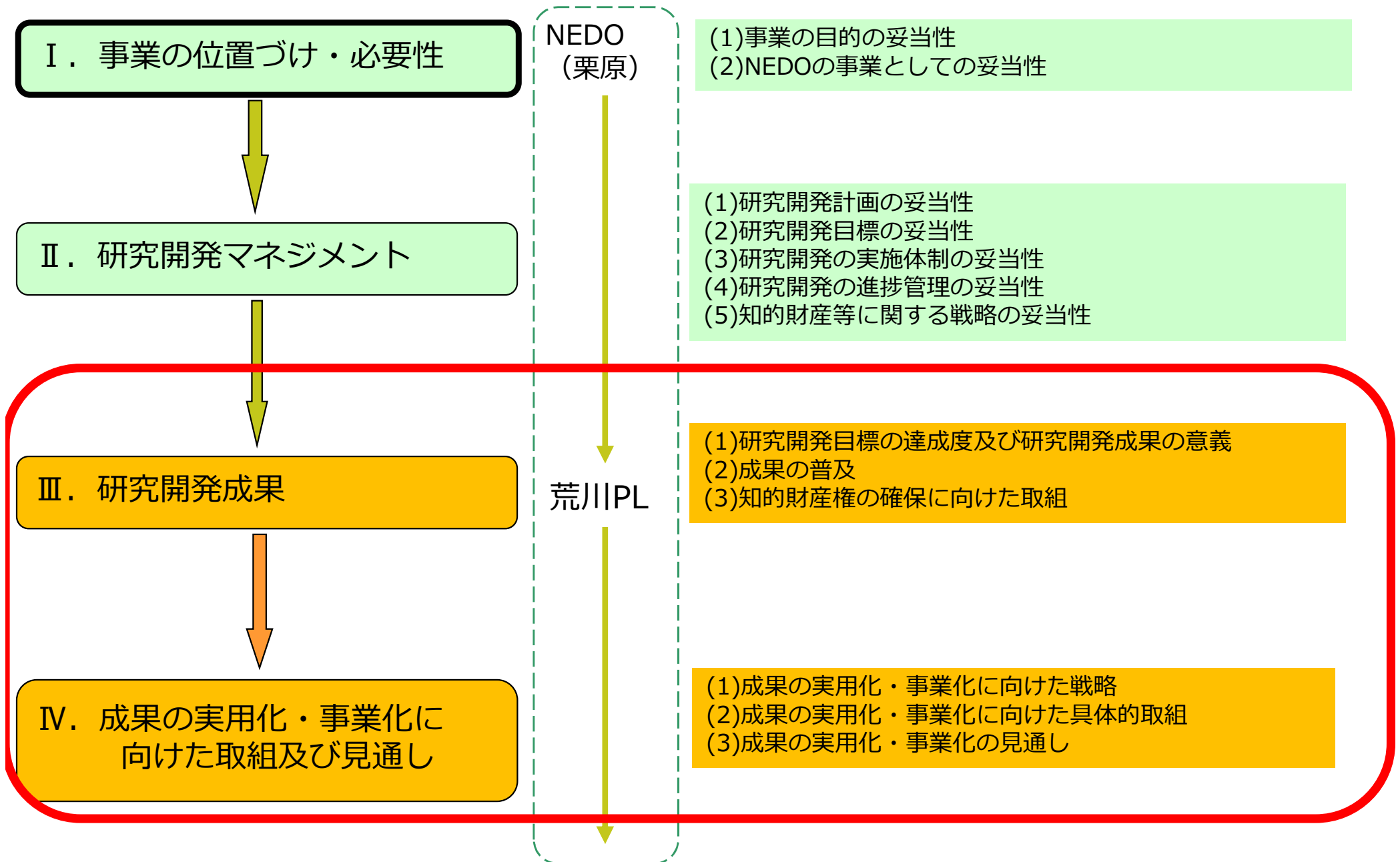
「超低消費電力型光エレクトロニクス 実装システム技術開発」 (事後評価)

(事後評価対象期間：2018年度～2021年度 4年間)
プロジェクトの概要 (公開)

NEDO IoT推進部

PL 東京大学特任教授 荒川泰彦

2022年5月17日



【成果一覧】

【成果詳細】

Ⅲ. 研究開発成果とⅣ. 実用化・事業化の見通し

②光エレクトロニクス実装システム化技術

2 システム化技術

2-1 光電子集積インターポーザのデバイス・実装技術

2-2 光電子集積インターポーザのシステム化技術

2-3国際標準化

①光エレクトロニクス実装基盤技術

1 革新的デバイス技術

③成果普及活動

Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた取組と見通し

技術開発項目

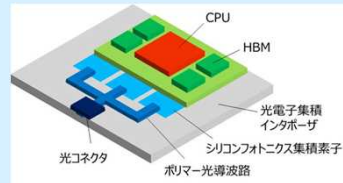
②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発

2-2システム化技術

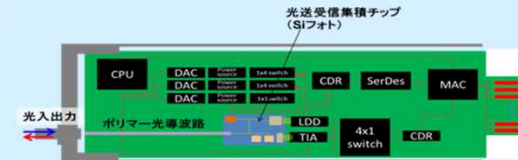
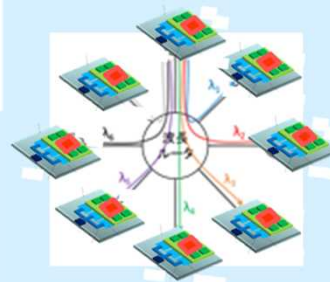
2-2-1 情報処理システム化技術

2-2-2 情報通信システム化技術

光電子融合
サーバボード



ラックスケール並列分散システム



2-3

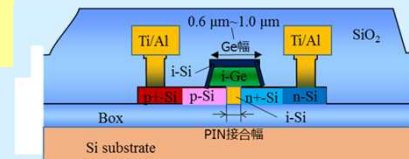
国際標準化

2-1デバイス・実装技術

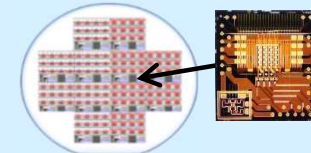
2-1-3 光実装技術



2-1-1 デバイス技術



2-1-2集積化 プロセス技術



①光エレクトロニクス 実装基盤技術の開発

1.革新的デバイス技術

③成果普及

【成果一覧】

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ	最終目標	主な成果状況	達成度
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、光電子集積インターポーザへの技術展開の見通しと事業化に対する課題を明確化する。	<ul style="list-style-type: none"> ・シリコン基板上直接量子ドットレーザの高温(101℃)で発振に成功 ・III-V/SiハイブリッドMOSキャパシタを用いた光変調器でSi変調器の10倍の効率、1/10の光損失を実現 	○
光電子集積インターポーザのデバイス・実装技術開発	光配線の消費電力を1mW/Gbps以下とするための要素技術と、電気配線と比較し通信速度あたりの面積で1/100(20Tbps/mm ²)の帯域密度を実現するための要素技術、およびシリコンフォトンクス技術による波長多重シングルモード光回路を開発することにより、10Tbps/ノードの帯域幅を持つ光電子集積インターポーザ技術を実現する。	<p>下記により10Tbps/ノードの光電子集積インターポーザ技術を実現した</p> <ul style="list-style-type: none"> ・変調器、受光器の112Gbps動作実証。 ・16波長合分波を可能とする光素子を動作実証。 ・EA変調器を開発し、1mW/Gbpsに目途。 ・3次元曲面ミラーを開発し、20Tbps/mm²に相当する高密度光接続構造を実現。 	○
光電子集積インターポーザのシステム化技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・消費電力の少ない光電子集積インターポーザ技術と波長多重技術を用いた接続技術を組合せた光電子融合サーバボードを試作し、試作機とシミュレーションを用いてサーバ電力量を30%削減可能であることを示す。 ・光電子集積インターポーザを用いた一芯双方向波長多重トランシーバを搭載することにより、光加入者端末装置を10cm×2cm×2cm以下のサイズに小型化するための実装技術を開発する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・光電子融合サーバボードを試作システムに実装し、波長多重技術と組み合わせることで10Tbps/ノードの見通しを得た。 ・<u>全サーバボード間を結合した光電子融合ラック型サーバシステムを開発し、サーバ電力量を98%削減可能であることを実証。</u> ・スモールセルアンテナ用光トランシーバを10x2x2cm以下に小型化。 	◎
国際標準化	光電子集積インターポーザの物理仕様(サイズ、入出力構成)、電気・光インターフェースに関し、提案した標準化案の採択推進活動を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・デジュール標準化機関(IEC)において、パッケージと光インターフェースの二件の標準化を達成。 	○
成果普及活動	光エレクトロニクス技術を、一般のユーザ、研究者、学生等へ幅広く普及させるために、成果普及、人材育成に向けたプログラムを実施する。プレスリリース、展示会への出展等の取組みを通じて情報発信、普及促進を推進する。	<ul style="list-style-type: none"> ・フォトンクス・イノベーションセミナーを10回開催。 ・プレスリリース 6件 	○

(3) 成果の普及と (4) 知的財産権の取得

年度	特許国内登録	特許海外登録	論文・学会発表	ニュース リリース	主要展示会
合計	58	29	269	6	-
2018年度	27	16	69	2	OFC2019 InterOpto2018
2019年度	18	5	73	2	CEATEC2019 InterOpto2018
2020年度	12	4	72	1	CEATEC2020 InterOpto2018
2021年度	1	4	55	1	CEATEC2021 InterOpto2018

(1) 研究開発目標の達成度及び成果の意義

【成果詳細】

【成果一覧】

【成果詳細】

Ⅲ. 研究開発成果とⅣ. 実用化・事業化の見通し

②光エレクトロニクス実装システム化技術

2 システム化技術

2-1 光電子集積インターポーザのデバイス・実装技術

2-2 光電子集積インターポーザのシステム化技術

2-3国際標準化

①光エレクトロニクス実装基盤技術

1 革新的デバイス技術

③成果普及活動

Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた取組と見通し

技術開発項目

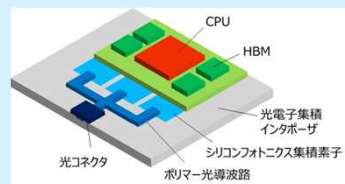
2-2システム化技術

②光エレクトロニクス実装システム化技術の開発

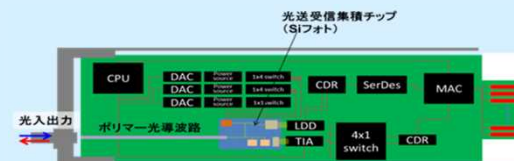
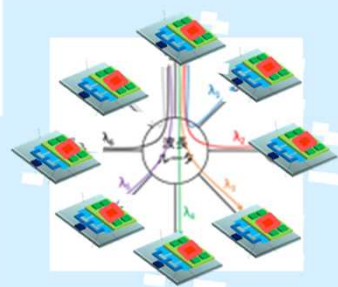
2-1 情報処理システム化技術

2-2 情報通信システム化技術

光電子融合
サーバボード



ラックスケール並列分散システム



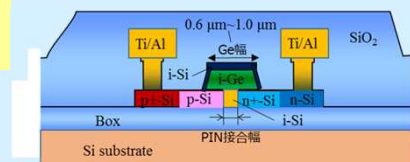
2-3
際標準化

2-1デバイス・実装技術

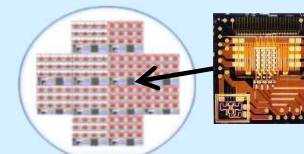
2-1-3 光実装技術



2-1-1 デバイス技術



2-1-2集積化 プロセス技術



③成果普及

①光エレクトロニクス 実装基盤技術の開発

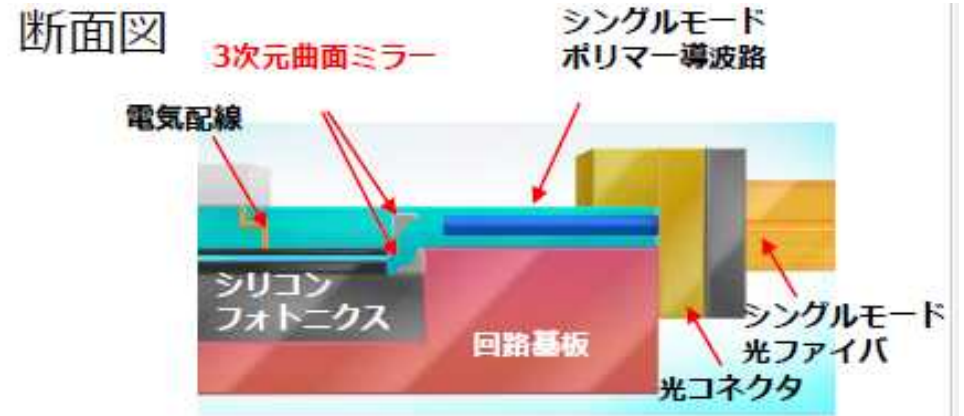
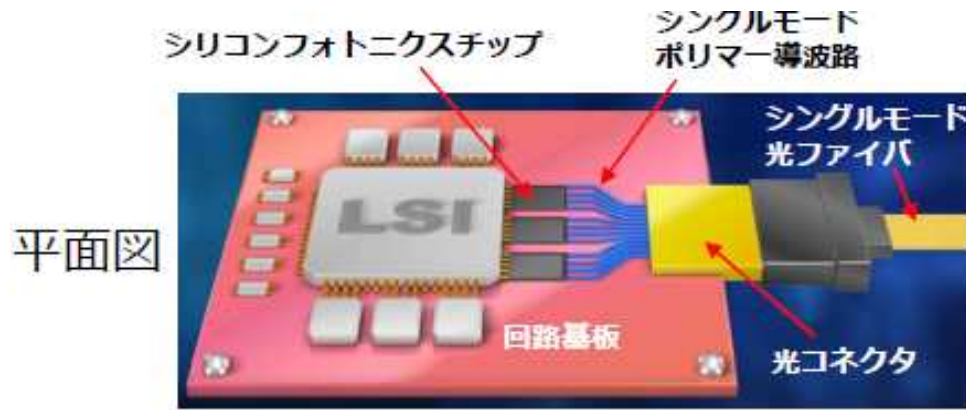
1.革新的デバイス技術

開発計画

- ✓ 前半は、デバイス・実装技術開発に注力
- ✓ 後半は、開発した要素技術をシステム化し、成果の事業化につなげていく

	開発項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
2 システム化技術の開発 2-1 デバイス・実装技術開発	2-1-1 デバイス技術開発	56Gbps素子・電子回路基本動作	112Gbps素子・電子回路基本動作		
	2-1-2 集積化プロセス技術	新規素子プロセス設計	56Gbps集積光回路試作	112Gbps集積光回路試作	
	2-1-3 光実装技術	3.6Tbps伝送密度光リンク		10Tbps伝送密度光リンク	
2-2 システム化技術開発	2-2-1 光電子融合サーバボード	4チャンネル動作		16チャンネル動作	10Tbps実証
	2-2-2 ラックスケール並列分散システム	リンク設計	FPGA/ボード1次試作・評価	波長多重動作検証	システムリンク検証 電力量30%削減の実証
	2-2-3 情報通信システム化技術	基本構造設計	基本動作検証	パッケージ設計	パッケージ試作・実証 10x2x2cm以下の小型化
1 基盤技術の開発	1 革新的デバイス技術開発	基本動作検証		実用化に向けた課題の明確化	

2-1デバイス・実装技術 開発目標



10Tbps/ノードの光電子集積インターポーザ

1シリコンフォトニクスチップ当たり 112Gbps x 16波 x 送受(2) = **3.6Tbps**



1 LSI 当たり 3シリコンフォトニクスチップで、3.6Tbps x 3 ≐ **10Tbps**

第一期の技術目標

第二期

第三期

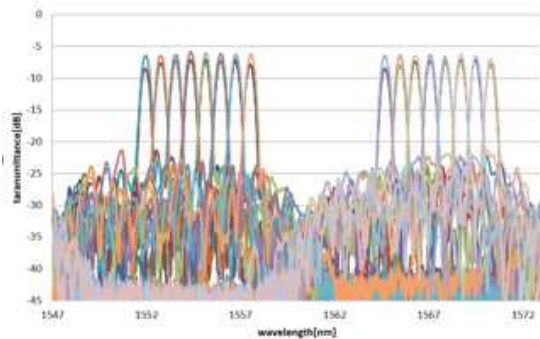
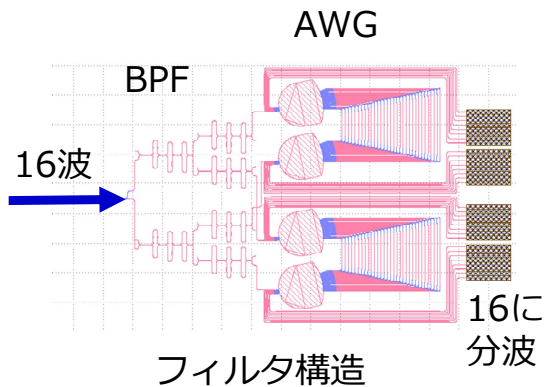
デバイス 技術 開発	高速デバイス	28Gbps/Si変調器	56Gbps/PAM4	112Gbps/56GBaud + PAM4
	低電力デバイス	5mW/Gbps /Si変調器	3mW/Gbps /高性能材料 (SiGe)変調器	1mW/Gbps /小型導波路埋込型 SiGe変調器
	波長多重デバイス	4波長/アレイ導波路型回折 格子 (AWG) (素子)	8波長/AWG(素子)	16波長/AWG+バンドパスフィルタ (集積回路)
実装 技術 開発	光の入出力	10μmレベル目合わせ精度/ グレーティングカップラ+縦型ポリマー導波路		20Tbps/mm²/ 3次元ミラー+横型ポリマー導波路
	電気配線構造	平面構造		インターポーザ構造

2-1 デバイス・実装技術 デバイス技術の最終成果

16波長多重フィルタ

—10Tbps/ノードに向けて—

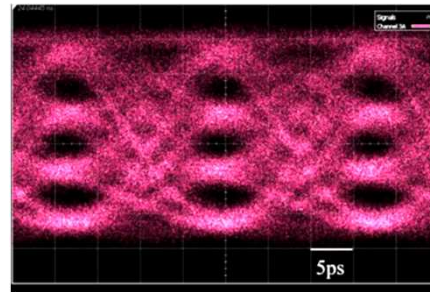
初段で大きな波長括りで合分波した後、AWGで細分化する16波長多重フィルタを開発し、波長分波を確認



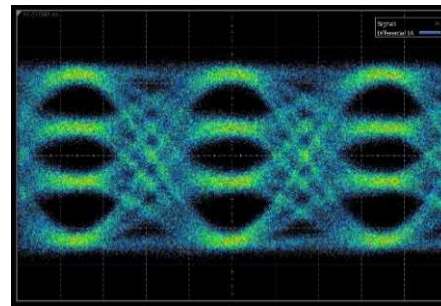
112Gbps光・電子回路

—10Tbps/ノードに向けて—

高速動作の光変調器/受光器とそれを駆動する電子回路を開発し、112Gbps動作を確認



GeSi電界吸収型光変調器の112Gbps光変調波形



Ge受光器とアンプ電子回路の実装構造の112Gbps電気受光信号

小型電界吸収型変調器

—1mW/Gbpsに向けて—

EA変調器向けCMOS駆動/アンプ回路を設計し、駆動電圧の低減と22nmノードの適用により、シミュレーションにより1mW/Gbpsに目途

消費電力 (シミュレーション)
(mW/Gbps)

	第二期 28nm (MZ光 変調器)	第三期 22nm (EA光 変調器)
駆動回路	2.1	0.27
アンプ回路	3.5	0.66
合計	5.6	0.93

主な成果状況

- ・16波長合分波を可能とする光素子を動作実証。
- ・変調器、受光器の112Gbps動作実証。
- ・EA変調器を開発し、1mW/Gbpsに目途。

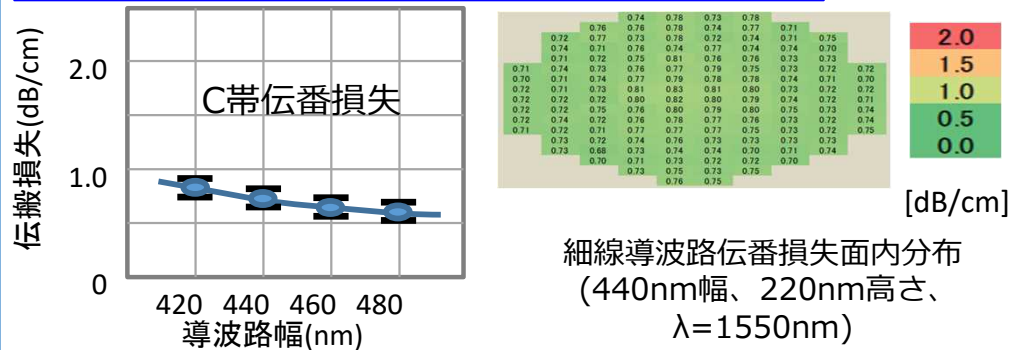
達成度
○

2-1デバイス・実装技術集積化プロセス技術・光実装技術の最終成果

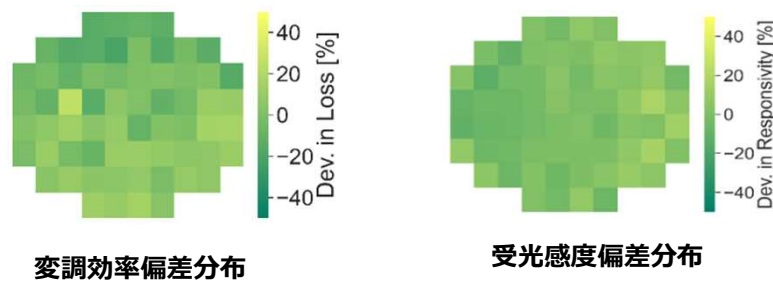
シリフォト集積化プロセス —プロジェクト成果の社会実装に向けて—

- ✓ シリフォト集積プロセス技術の300mm 一貫試作ファンドリへの展開

導波路：ラフネス低減で**世界最高の損失特性**

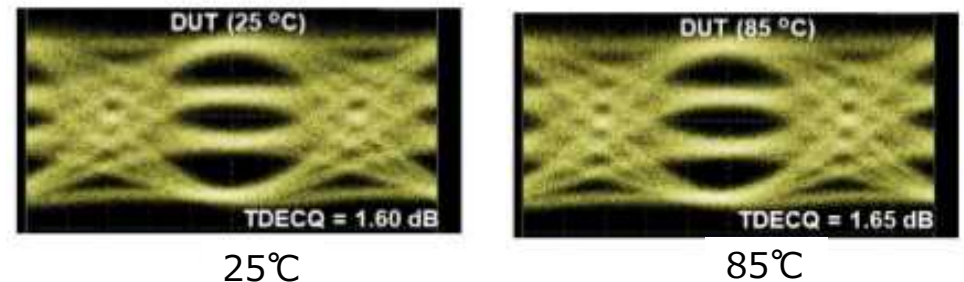
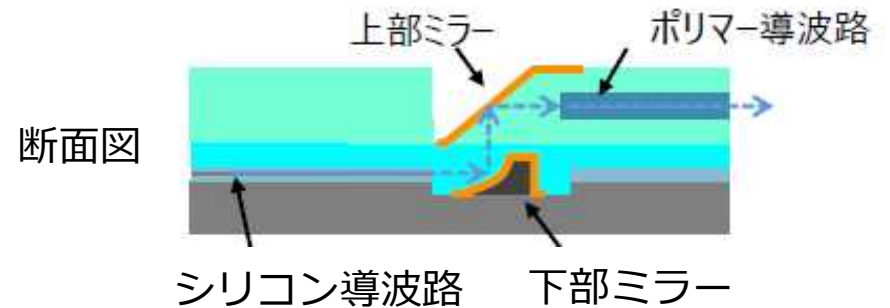


変調器・受光器： **高均一な変調・受光特性**



三次元ポリマミラー形成 —20Tbps/mm²に向けて—

- ✓ シリコン導波路とポリマー光導波路の異種導波路接続技術として、3次元曲面ミラーを開発し、20Tbps/mm²に相当する高密度光接続構造を実現
- ✓ 温度無依存性を実証



112Gbps光伝送波形

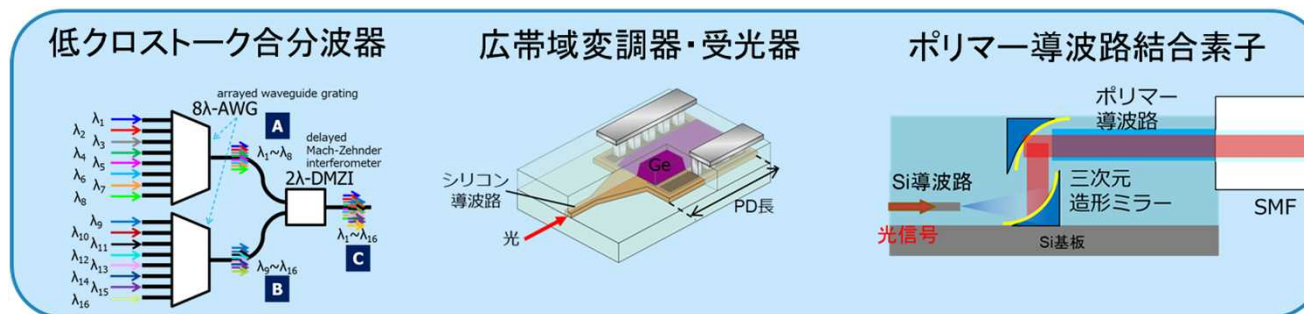
主な成果状況

- ・ 成果の社会実装に向けシリフォト集積プロセス技術の300mm 一貫試作ファンドリへの展開
- ・ 3次元曲面ミラーを開発し、20Tbps/mm²に相当する高密度光接続構造を実現

達成度
○

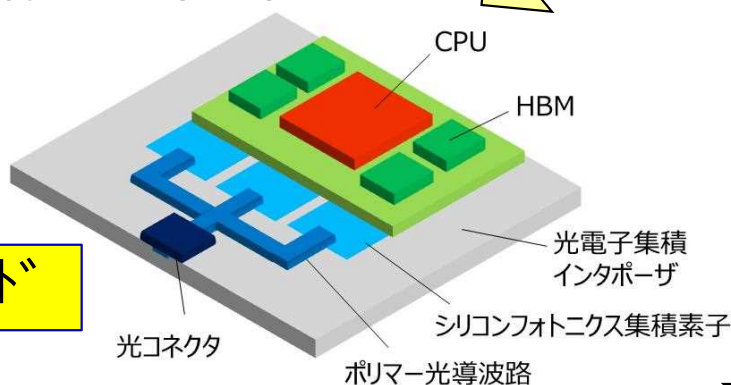
2-2 システム化技術

(e) 光電子集積インターポーザのデバイス・実装技術



(f-1) 情報処理システム化技術

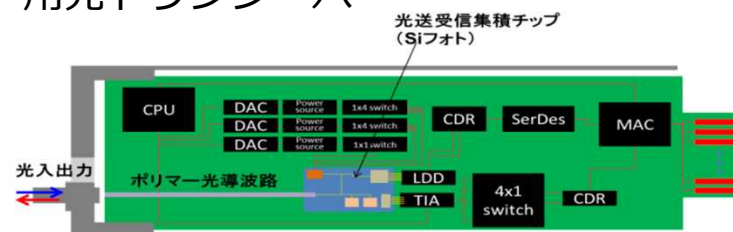
① 光電子融合サーバボード



10Tbps/ノード

(f-2) 情報通信システム化技術

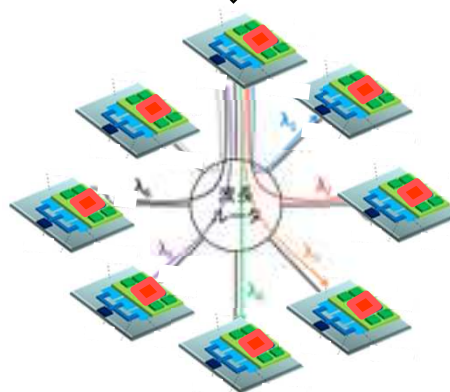
5Gモバイルのsmall cellアンテナ用光トランシーバ



10x2x2cm以下の小型化

(f-1) 情報処理システム化技術

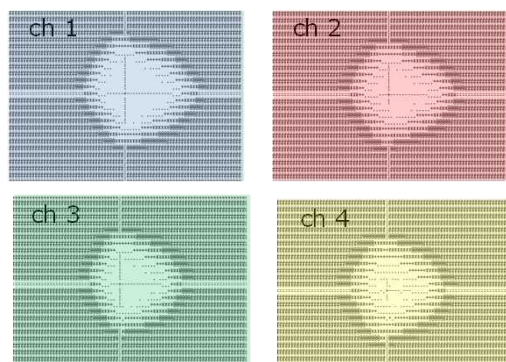
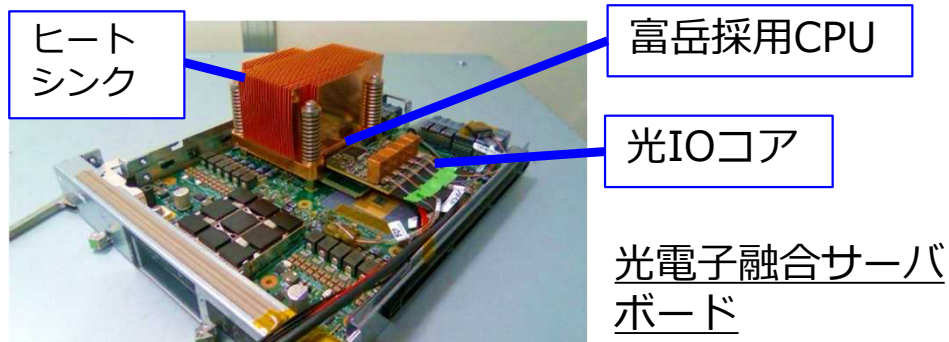
② ラックスケール並列分散システム



⇒消費電力量 3 割削減

光電子融合サーバボード —10Tbps/ノード—

- ✓ 富岳採用CPUを搭載した光電子融合サーバボードをスパコン試作システムに実装し、100Gbps（25Gbps x 4ch）伝送を確認
- ✓ 波長多重技術と組み合わせることで10Tbps/ノードの見通し



サーバ間光伝送特性
(アイパターン)

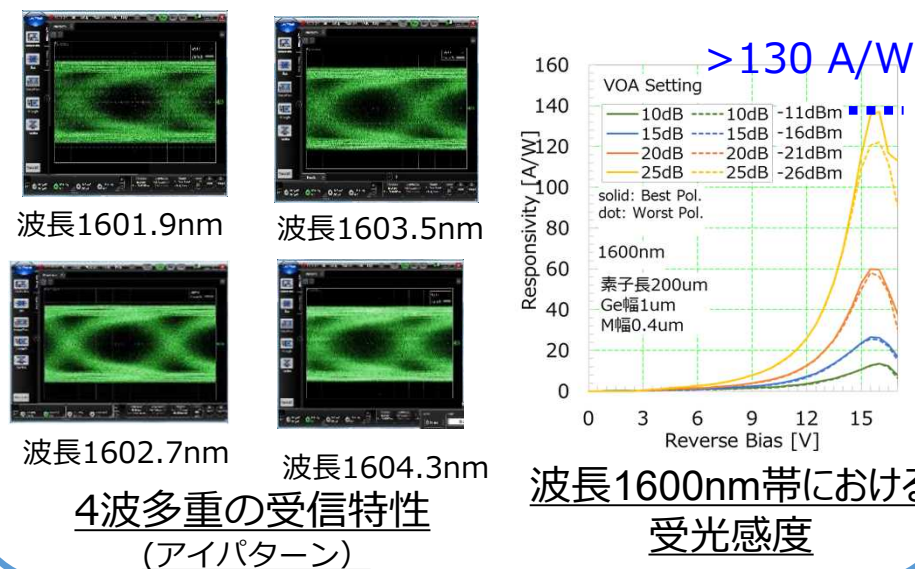
情報通信システム

—5Gモバイル用小型光トランシーバ—

- ✓ シリフォトによりスモールセルアンテナ用光トランシーバを10x2x2cm以下に小型化
- ✓ 4波多重と高感度受信器（APD）により小型・大容量伝送を実現



小型光トランシーバモジュール



主な成果状況

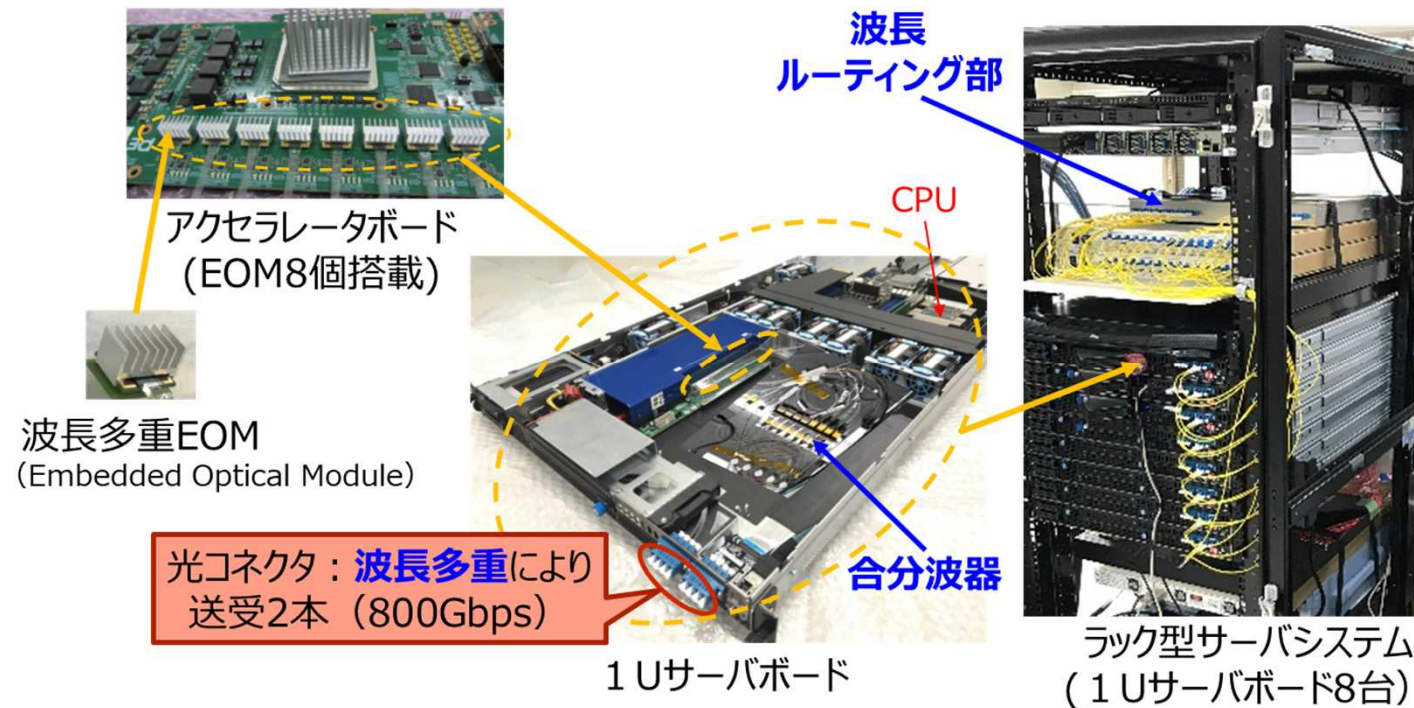
- ・ 光電子融合サーバボードを試作システムに実装し、波長多重技術と組み合わせることで10Tbps/ノードの見通しを得た。
- ・ スモールセルアンテナ用光トランシーバを10x2x2cm以下に小型化。

達成度

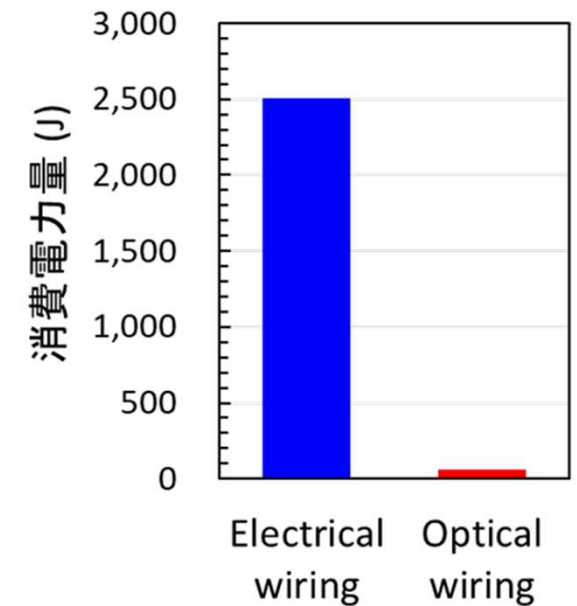
○

2-2 システム化技術 ラックスケール並列分散システム（最終成果）

- ◆波長多重や波長ルーティングなどの光接続技術を用いて、全サーバボード間を結合した光電子融合ラック型サーバシステムを開発
- ◆電気スイッチを介した従来のデータ伝送方式と比べ、計算速度を一桁以上高速化しサーバ電力量を98%削減可能であることを実証した。



光電子融合ラック型サーバシステム



消費電力量比較

主な成果状況

・全サーバボード間を結合した光電子融合ラック型サーバシステムを開発し、サーバ電力量を98%削減可能であることを実証

達成度

◎

【成果一覧】

【成果詳細】

Ⅲ. 研究開発成果とⅣ. 実用化・事業化の見通し

②光エレクトロニクス実装システム化技術

2 システム化技術

2-1 光電子集積インターポーザのデバイス・実装技術

2-2 光電子集積インターポーザのシステム化技術

2-3国際標準化

①光エレクトロニクス実装基盤技術

1 革新的デバイス技術

③成果普及活動

Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた取組と見通し

2-3 国際標準化

■ 目標

光電子集積インターポーザの物理仕様（サイズ、入出力構成）、電気・光インターフェースに関し、提案した標準化案の採択推進活動を行う。

■ 成果

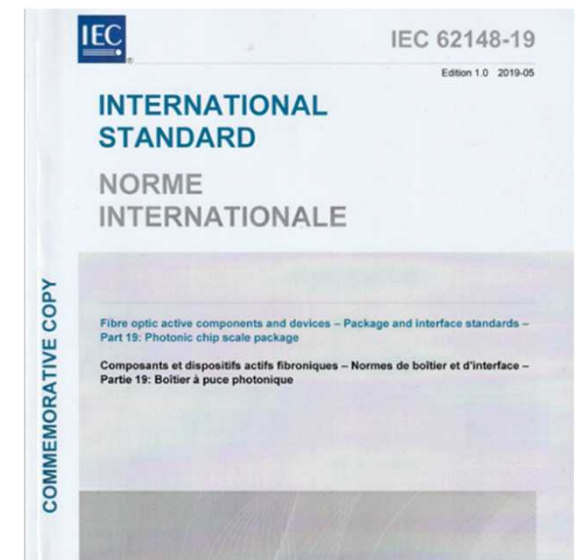
✓ デジタル標準機関IECにおいてパッケージと光インターフェースの標準化を達成

➤ パッケージ標準

- IEC 62148-19: Photonic chip scale package
- 2019/5 発行

➤ 光インターフェース標準

- IEC 62149-11: Multiple channel transmitter/receiver chip scale package with multimode fibre interface
- 2020年4月発行



主な成果状況

・ デジタル標準化機関（IEC）において、パッケージと光インターフェースの標準化を達成。

達成度

○

1 革新的デバイス技術

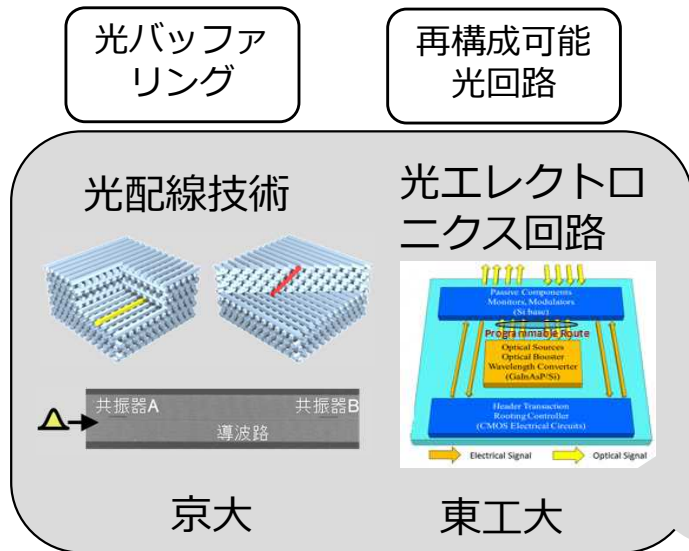
革新的構造・技術や新概念の導入により不連続な技術進化を可能とするための技術開発

- ✓ 次世代、次次世代の光電子集積回路基盤技術の確立
- ✓ 成果のPETRA研究開発への展開

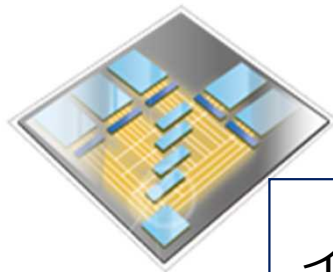


革新的コア技術：
結晶成長技術、異種材料接合技術、
フォトニックナノ構造

持続的高性能化を可能に

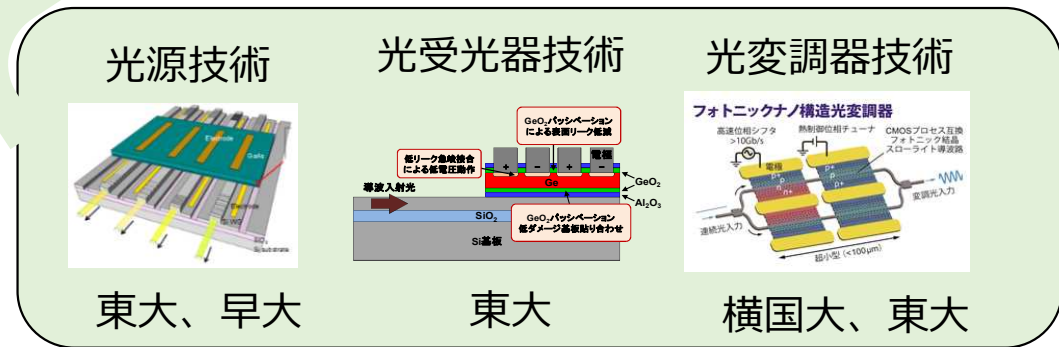


光回路技術の先駆的開発



光電子集積
インターポーザ

小型、高速、省エネ

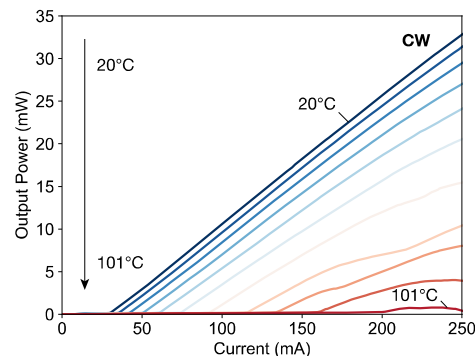
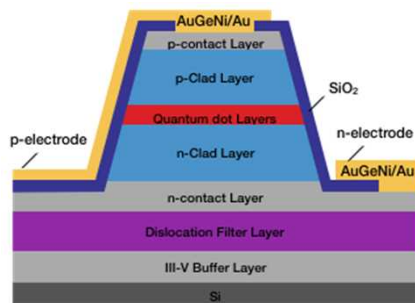
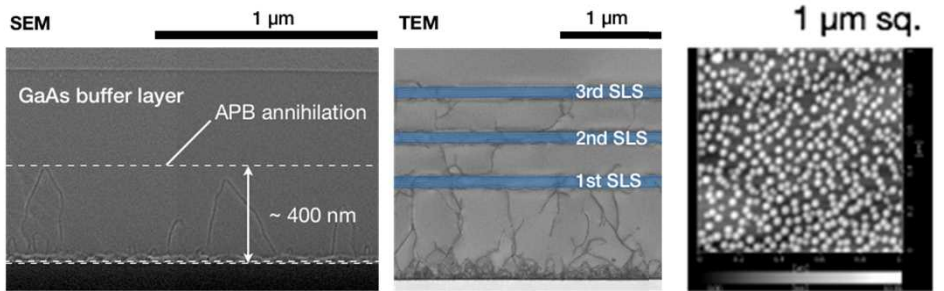


高性能要素デバイスの開発

革新的デバイス技術の代表的最終成果

シリコン基板上直接成長量子ドットレーザの実現

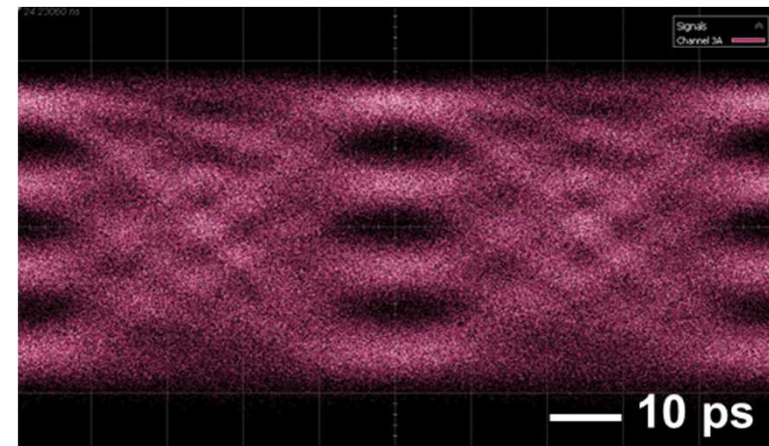
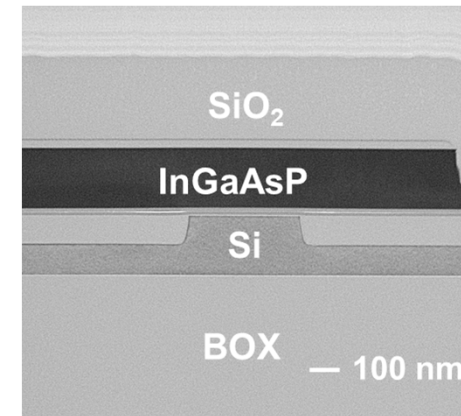
- シリコン (100) 基板上に全MBEによる直接成長量子ドットレーザの実現に成功
- 100 °C 以上の高温連続波動作を実現



- J. Kwoen et al. Opt. Express **26** 9 11568 (2018)
- J. Kwoen et al. Opt. Express **27** 3 2681 (2019)
- J. Kwoen et al. Opt. Express **29** 18 29378 (2021)
- J. Kwoen et al. Electron. Lett. **57** 14 567 (2021)

III-V/SiハイブリッドMOS光変調器でPAM-4変調を世界初実証

- PETRAと共同で、低寄生容量化に成功
- 40 Gbps PAM-4変調を実証



OFC, Th2A.16, San Diego, 8–12 March 2020.

主な成果状況

- シリコン基板上直接量子ドットレーザの高温(101°C)で発振に成功
- III-V/SiハイブリッドMOS光変調器でPAM-4変調を世界初実証

達成度

○

人材育成・成果普及

- ナノ量子情報エレクトロニクス特論開催（4回）
- フォトニクス・イノベーションセミナーを開催（10回）
 - ✓うち 3回 地方開催（京都 2回、仙台 1回）
- International Symposium on Photonics and Electronics Convergence（ISPEC）を開催（4回）
- 主要展示会に出展
 - ✓CEATEC（3回）,OFC（1回）,InterOpto（4回）
- ニュースリリース（6回）

ISPECでのKimerring先生、荒川先生ら基調講演



第13回 フォトニクス・イノベーションセミナー@京都大学開催
光コム基礎から応用、シリコンフォトニクス最新動向について活発な議論



InterOpto2020@の東京ビッグサイトの展示風景

News Release
2020.10.16

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術研究組合光電子融合基礎技術研究所

データセンター用サーバーの計算速度を一桁高速化
—世界初、光配線でサーバーボードを直結したラック型システムを完成—

NEDOは技術研究組合光電子融合基礎技術研究所（PETRA）と共同で、サーバーボードにデータ転送先を切り替えるスイッチング機能を実装し、全サーバーボード間を光配線で直結したラック型サーバーシステムを世界で初めて完成しました。電気スイッチでの中継が不要なことから、従来のデータ伝送方式と比べ計算速度を一桁高速にできます。これによりデータセンターの消費電力を軽減できるため、多くの電力と計算時間が必要となるビッグデータやAIの利用を促進する効果も期待できます。

なお、今回開発したラック型サーバーシステムは10月20日から23日までオンラインで開催される「CEATEC 2020 ONLINE」で発表し、大量のデータを高速で処理するデモンストラーションを行います。また、12月9日から11日まで東京ビッグサイトで開かれる「InterOpto 2021」にも出展する予定です。

光I/Oコアを8回搭載した
アクセラレータボード

アクセラレータボードを搭載した
サーバーボードを8台組み込んだ
ラック型サーバーシステム

光I/Oコア

アクセラレータボード
をサーバーボードに搭載

図1 ラック型サーバーシステム

ニュースリリースの例

【成果一覧】

【成果詳細】

Ⅲ. 研究開発成果とⅣ. 実用化・事業化の見通し

②光エレクトロニクス実装システム化技術

2 システム化技術

2-1 光電子集積インターポーザのデバイス・実装技術

2-2 光電子集積インターポーザのシステム化技術

2-3国際標準化

①光エレクトロニクス実装基盤技術

1 革新的デバイス技術

③成果普及活動

Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けた取組と見通し

成果の実用化・事業化に向けた戦略

1. 知財戦略

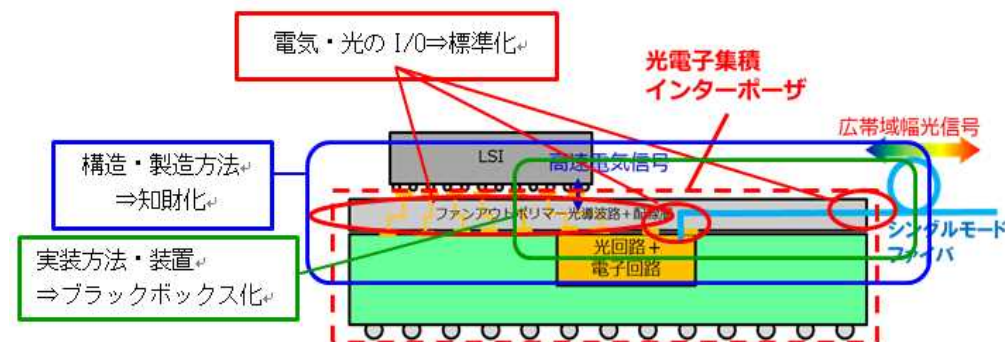
■ オープン

- ✓ 知財化：インターポーザの外観、性能、製造方法等
- ✓ 標準化：電気・光の入出力に関わるインターフェース部

■ クローズ

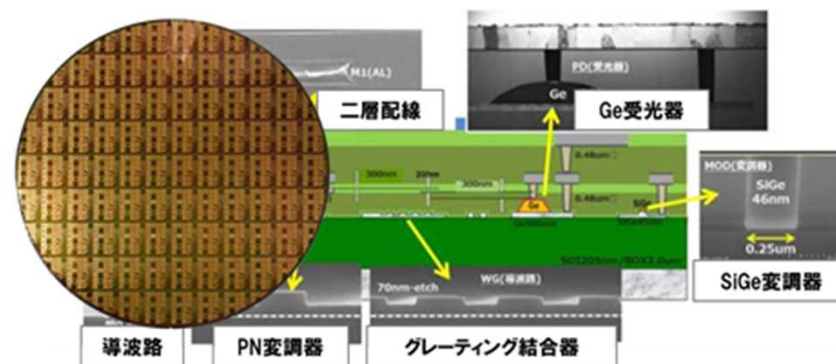
- ✓ 実装方法、装置仕様等をブラックボックス化に、事業化における強みにする

オープン・クローズ戦略



2. シリフォト設計・プロセス統合プラットフォームの構築

- シリフォト統合化集積プロセス & 設計・プロセス統合ライブラリ技術を構築
- 組合員企業/アイオーコア社に展開し、低コストでシリフォトチップ供給が可能となるプラットフォームとして活用する



成果の実用化・事業化に向けた取組と見通し

第一期、二期の成果の事業化

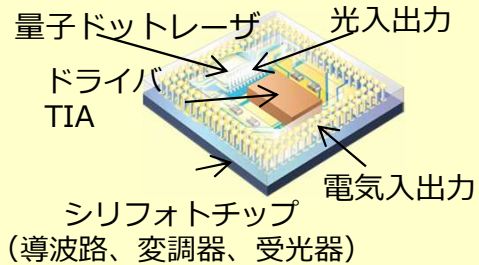
- ⇒PETRAの一部を分割し新会社化
- ⇒新会社が組合員企業と連携して事業化

第三期の成果

- ⇒技術開発成果を用いて組合員企業による事業化

光I/Oコア

- ・サイズ5×5mmの25Gbps/chの光トランシーバを実現



富士通： 次世代サーバ

HPCシステム、データ分析を活用したDXサービス事業



NEC： AI基盤向けHPC/ラックサーバ

HPCやラックサーバ領域において光接続FPGAアクセラレータを組み込み、性能向上、コスト削減によりシェア向上を狙う



光I/Oコアを供給

OKI： 5Gモバイル向けTWDM-PON ONU

スモールセルアンテナに組み込み可能な超小型ONU



アイオーコア株式会社 (AIO Core Co., Ltd.)

- ・事業内容：光I/Oコア技術を承継し、生産・販売
- ・設立日：2017年4月17日

組合員企業

- ・事業内容：光I/Oコアを集積化し大容量LSIを光接続
- ・組合員企業にて製品化に着手

アイオーコア(株)：経産省認可の研究組合として初の分割会社

- 商号：アイオーコア株式会社（英文名：AIO Core Co., Ltd.）
- 資本金：100百万円（@2020年3月31日）
- 設立時資産：PETRA所有知財の一部を継承取得
- 設立日：2017年4月17日
- 事業内容：光I/Oコアの生産・販売
- 顧客：米国、欧州、中国の通信／コンピュータ大手と商談中
- 光I/Oコアの特徴



15:30 アイオーコア(株)代表取締役社長
福田秀敬氏

- ✓ 世界で最も、**高速**、**小型**、**低消費電力**、**低コスト**、**高温動作**の光トランシーバ
- ✓ 世界トップレベルの性能に加えて製造原価を大幅に低減、競合より**3～5割以上安価**な製品を実現可能

光I/Oコア

量子ドットレーザ
光ピン(光IF)

ドライバー/TIA
TGV(電気IF)

装置間

大規模ルータやスイッチなどの
伝送装置間や
放送機器間との接続

性能	
伝送容量	25Gbps x 4ch
消費電力	7mW/Gbps
動作温度	-40℃～85℃
光IF接合精度	±10μm

基板間

LSI間