

戦略的省エネルギー技術革新プログラム
フェーズ名：実用化開発

シリフォト32G光送受信器の開発

プロジェクト実施者： アイオーコア株式会社

プロジェクト実施期間： 2018年7月～2021年2月

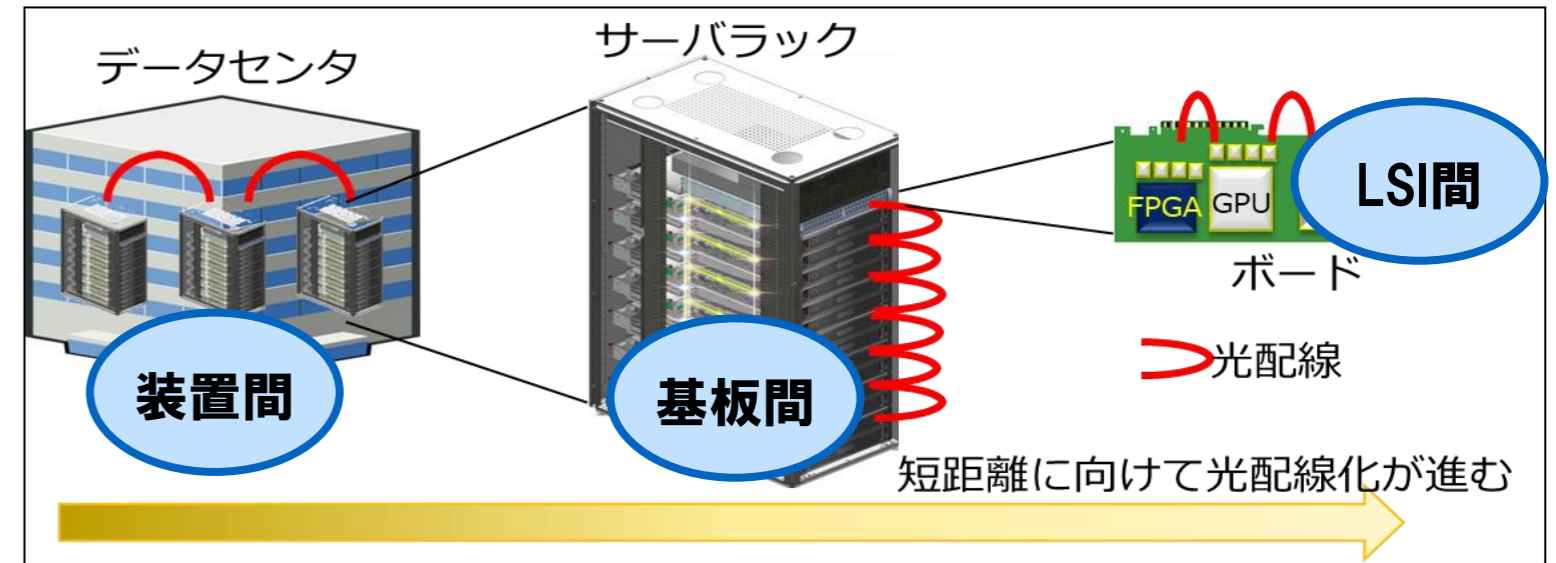


PCIe Gen5に適合の光送受信機

コンピューティング応用に注力したシリコンフォトニクスベースの32G光送受信器を開発

背景

- 光配線は短距離領域に向けて進む
- 光トランシーバの小型,省エネ,高速化がますます重要に
- 光トランシーバの主流はシリフォトになってきている
シリフォトのマーケット予測も大幅に伸長
- データセンタに加え
コンピューティングへの適用の動き活発化
- 32G (PCIegen5、CXL) 適用の光インターフェースの規格化議論が2020よりOIFにて始まる



OIF Copyright © 2020 OIF oif2020.468.01

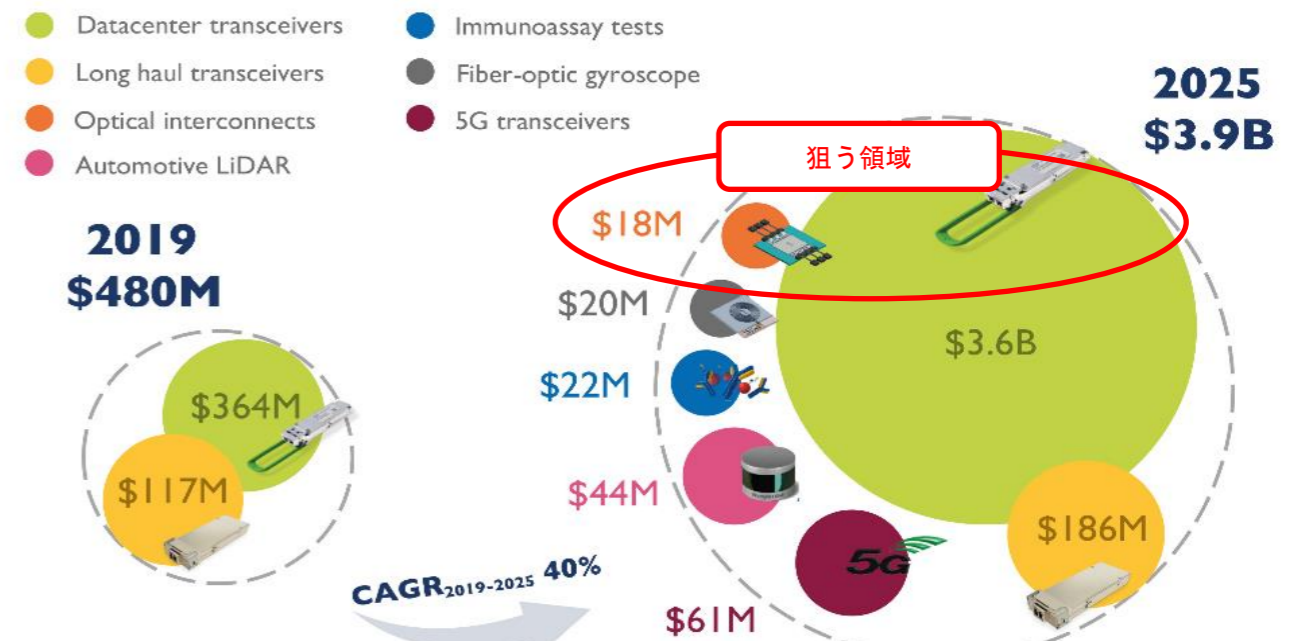
OIF2020資料を加工

Roadmap	Requirements / Attributes	Applications			
		Large Scale		Medium Scale	
		Traditional Ethernet	AI Training / HPC	Disaggregation	
Initial iteration	Host Side I/F	100G PAM4 XSR	32G NRZ PCIe gen 5 / CXL	32G NRZ PCIe gen 5 / CXL	32G NRZ PCIe gen 5 / CXL
	Switch type	25.6T / 51.2T Ethernet	TBD	PCIe switch	switchless or optical switch

PCIe gen5、コンピュータの高速インターフェース規格、5世代(32Gbps)
CXL (Compute Express Link)、PCIeをベースにしたインターコネクタ規格
OIF (The Optical Interconnecting Forum)、光接続の規格を策定する業界団体

Silicon photonic 2019-2025 market forecast by application

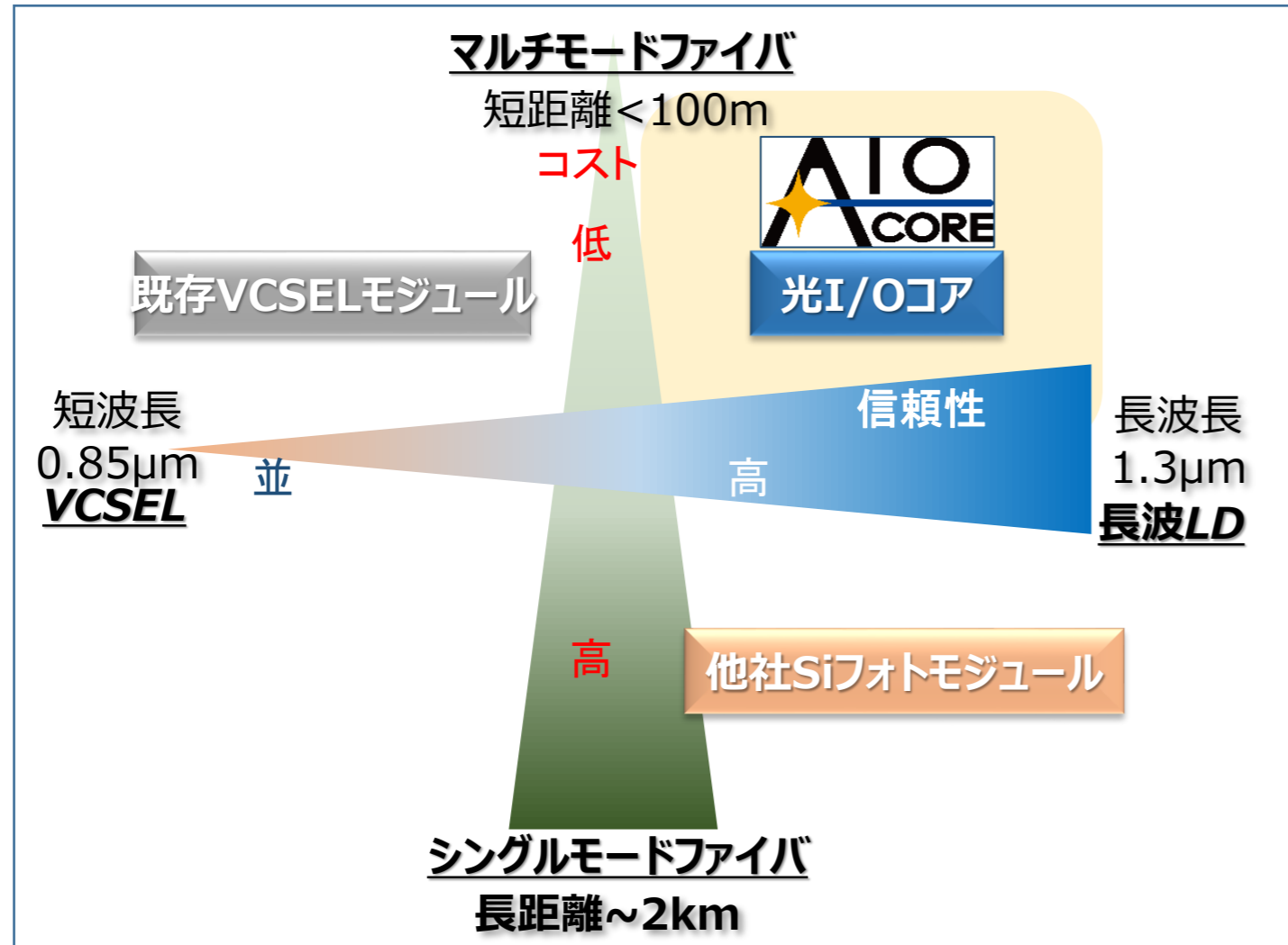
(Source: Silicon Photonics 2020 report, Yole Développement, 2020)



アイオーコア社の立ち位置と競合技術

- VCSEL : 25Gbpsより高速の光トランシーバ開発が鈍化、Siフォトへの期待が高まってきている
- Siフォト : 各社データセンタNWむけ50G (25G×2) PAM4の方向へ、32G_NRZは取り残されている
- 低コスト、高信頼の32GbpsSiフォト (光I/Oコア) をPCIe gen5のタイミングに合わせ開発

アイオーコア社の立ち位置

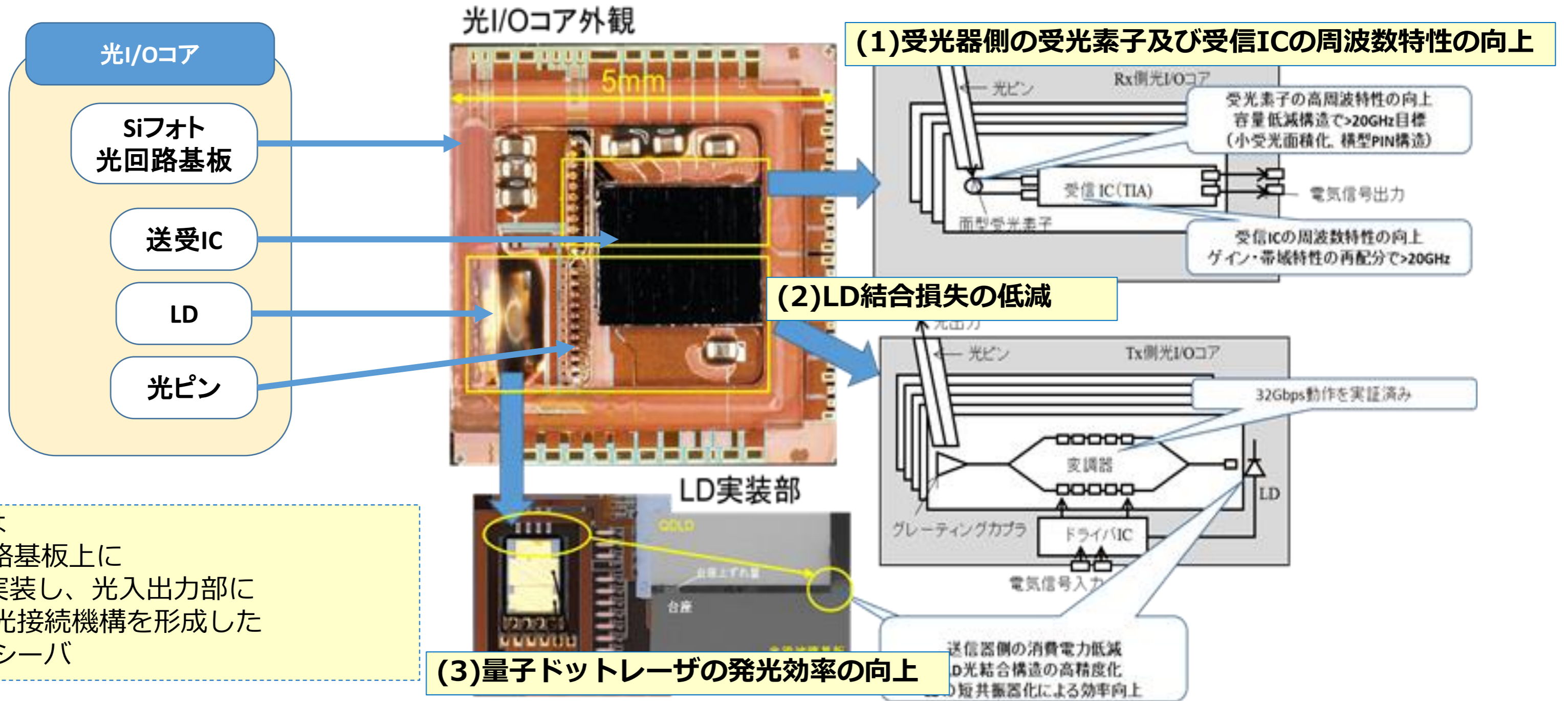


Siフォト光トランシーバの比較

<p>アイオーコア</p> <p>Si photo circuit</p> <p>Passive alignment: QD-FP, Mz Modulator, Grating coupler, Optical Pins</p> <p>Active alignment: None</p> <p>Output: MMF</p>		<p>MMF-100m コンピューティング用途に特化 25G→32Gへ 構造シンプル 小型、低コストで優位</p>
<p>LUXTERA/CISCO</p> <p>Si photo circuit</p> <p>Active alignment: DFB_LD 1ch, Isolator/Lenz, Grating coupler, Mz Modulator, Grating coupler</p> <p>Output: SMF</p>		<p>SMF2km 大規模SW用途 25G→50GPAMへ チップサイズ大 SMFアセンブリ 構造複雑 →コスト大</p>
<p>INTEL PSM4/CWDM</p> <p>Si photo circuit</p> <p>Active alignment: Hybrid Si LD, Si Raman LD, Mz Modulator, Micro Mirror, Isolator/Lenz</p> <p>Output: SMF</p>		<p>SMF0.5-2km 大規模SW用途 50GPAM 外部光源 特殊ファイバ必須 SMFアセンブリ 構造複雑 →コスト大</p>
<p>INTEL/AYAR LABS</p> <p>Si photo circuit</p> <p>Active alignment: External LD Module, Multi ch WDM LD, Isolator/Lenz?, Grating coupler, Ring Modulator, Grating coupler</p> <p>Output: SMF</p>		<p>SMF0.5-2km 大規模SW用途 50GPAM 外部光源 特殊ファイバ必須 SMFアセンブリ 構造複雑 →コスト大</p>

1-2. 研究開発の目的、目標

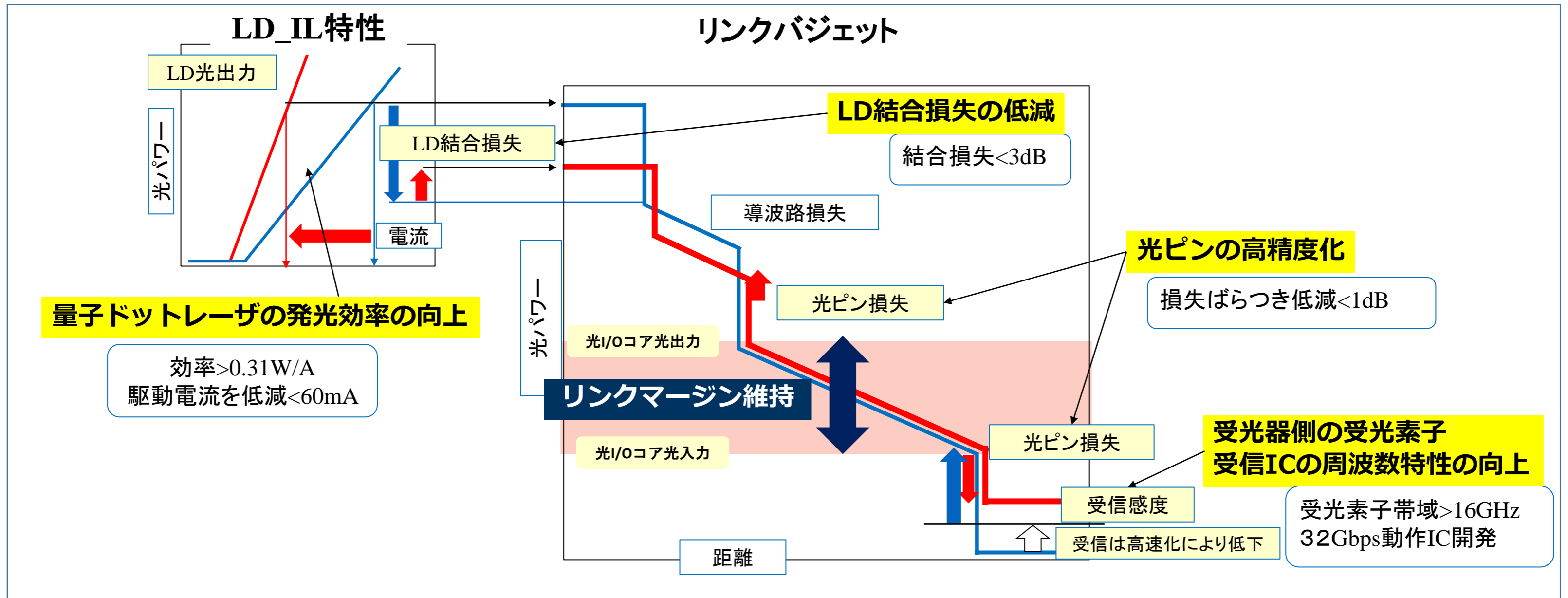
- ▶ 現在保有の25Gbpsのコア技術を基盤に主要部の性能を向上し、PCIeGen5(32Gbps)適合の光トランシーバを実現する
 - ▶ 帯域、受光感度、利得等の、複雑なトレードオフ関係の最適化
 - ▶ 新型デバイス構造、消費電力の最小化等で、32Gbps化を図る



光I/Oコアとは
Siフォト光回路基板上に
送受IC,LDを実装し、光入出力部に
光ピンと呼ぶ光接続機構を形成した
小型光トランシーバ

32G光送受信機、開発の狙い

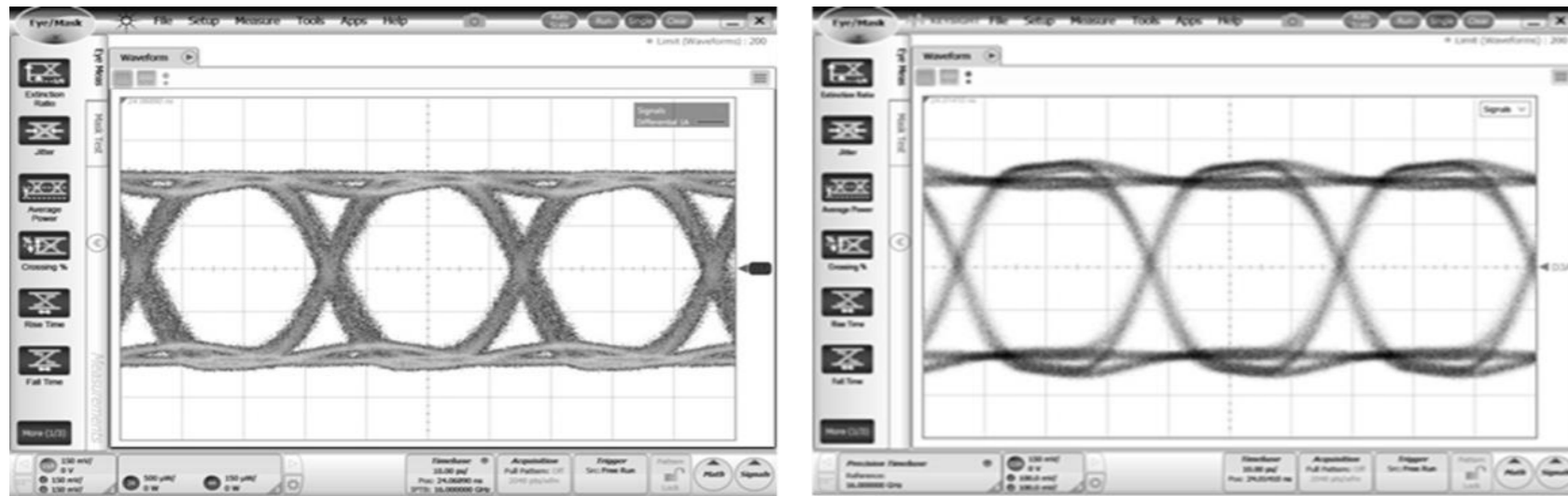
- 目的：25Gbps/ch光I/Oコア技術をベースに32Gbps/ch（PCI5.0）光I/Oコアを開発
- 目標：消費電力、リンクマージンを犠牲にせず32Gbps動作を実現
 - 受信器の受信感度低下分をLD結合損失、光ピン損失低減でリンクマージンを確保
 - レーザーの発光効率を向上させ、受信器の消費電力アップ分を相殺、トータル消費電力を維持



3 (1) 1) 受信ICの周波数特性の向上

- ・32Gbps動作の受信ICを開発
設計通りのアイ開口、周波数特性を確認
光I/Oコアチップに搭載し特性検証を実施(後述)

32G受信側出力波形

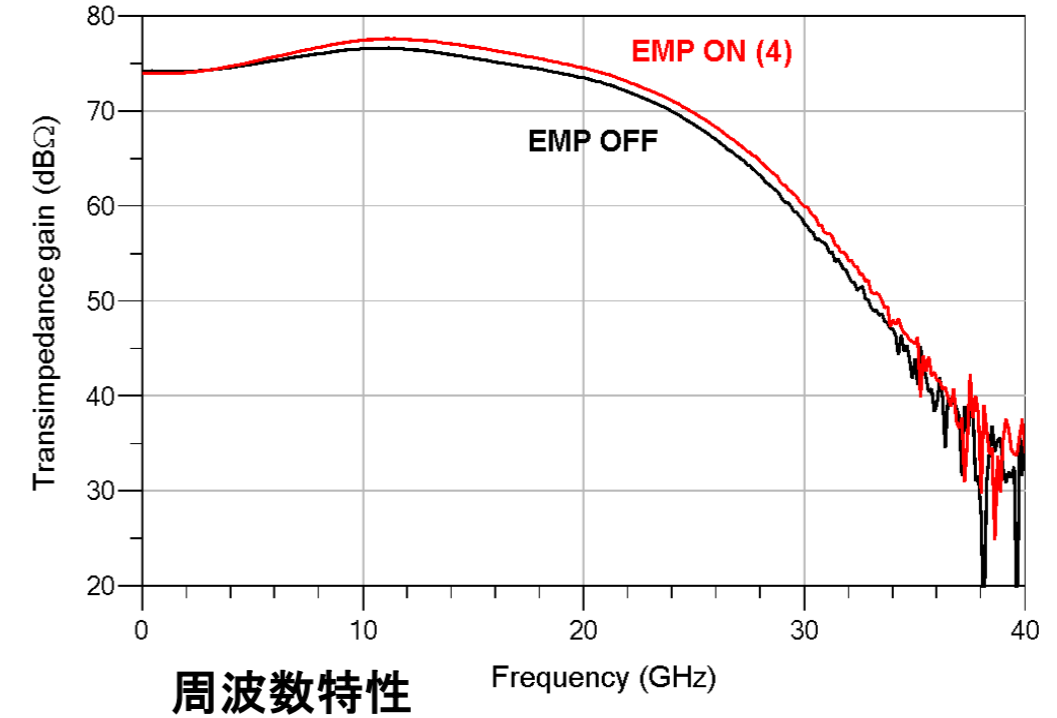


25Gbps版IC
(Emphasis OFF)

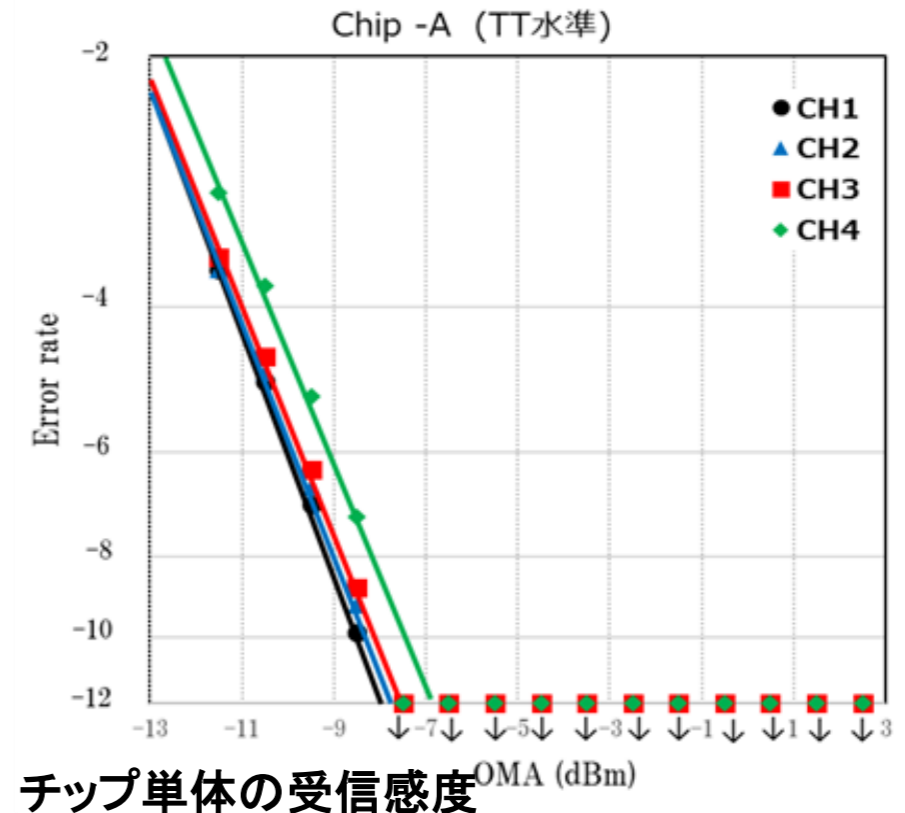


32Gbps版IC
(Emphasis MID)

ジッタが大幅に改善



周波数特性

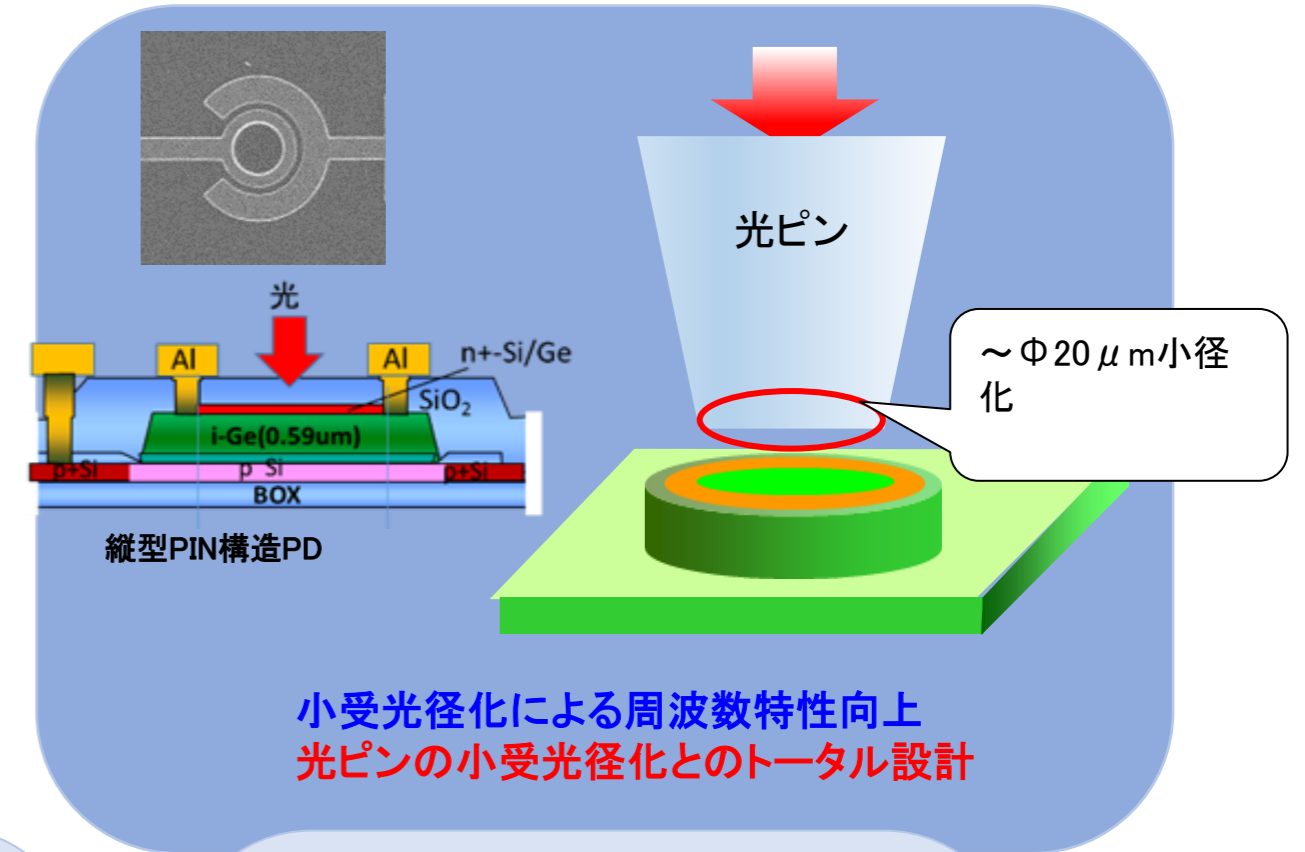
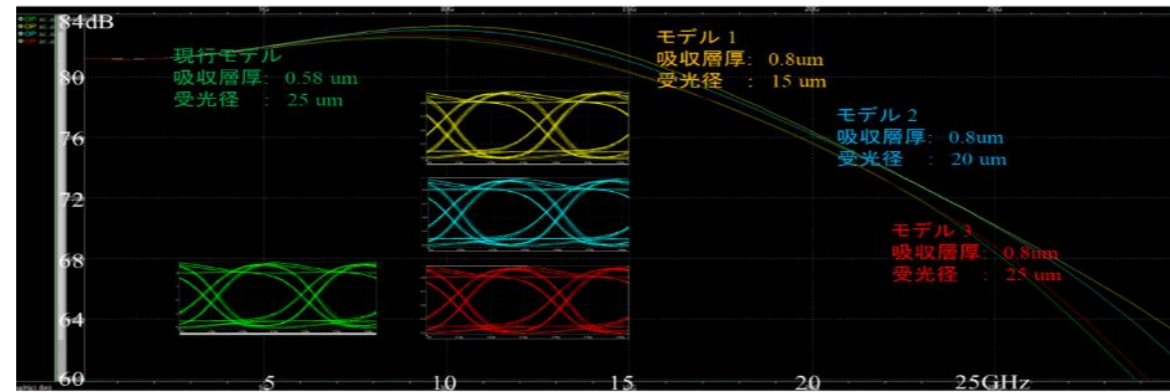


チップ単体の受信感度

3(1)2) 受光素子

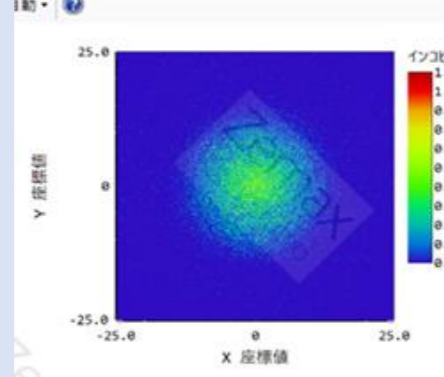
複数PD構造の感度、周波数特性をシミュレーションにより求め
 受光径 $\Phi 20\mu\text{m} \sim \Phi 25\mu\text{m}$ に設計値を絞り込み
 TEG_PDで32Gbps動作を確認後、光I/Oコア集積チップに搭載

周波数特性検証



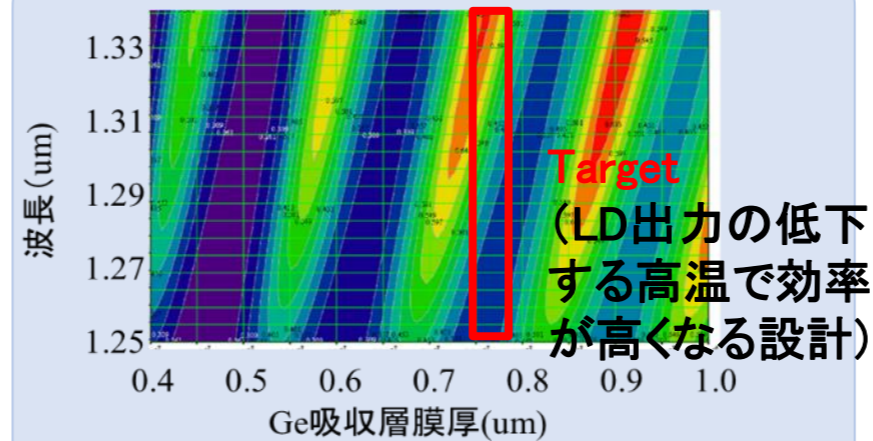
① 光結合計算

光ピン出射端光強度分布計算例



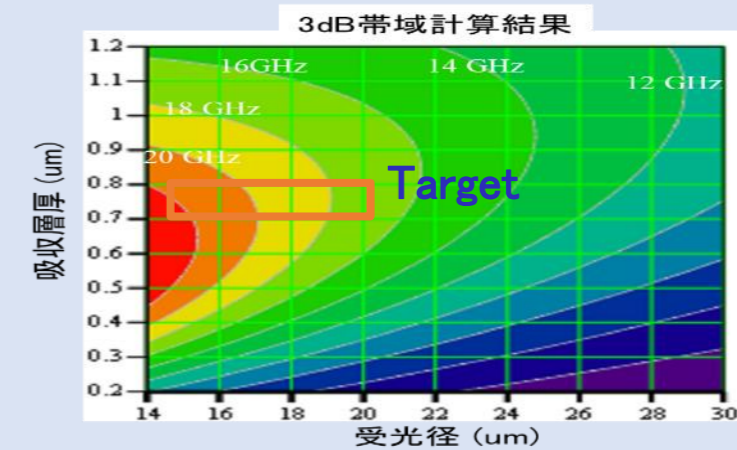
- 受光素子受光径
- 光ピン製造ばらつき
- 実装位置ずれ
- MMF入力光強度分布

② 受光素子効率計算



- Ge吸収層厚
- 入力波長範
- 積層各界面での反射 (各膜厚)

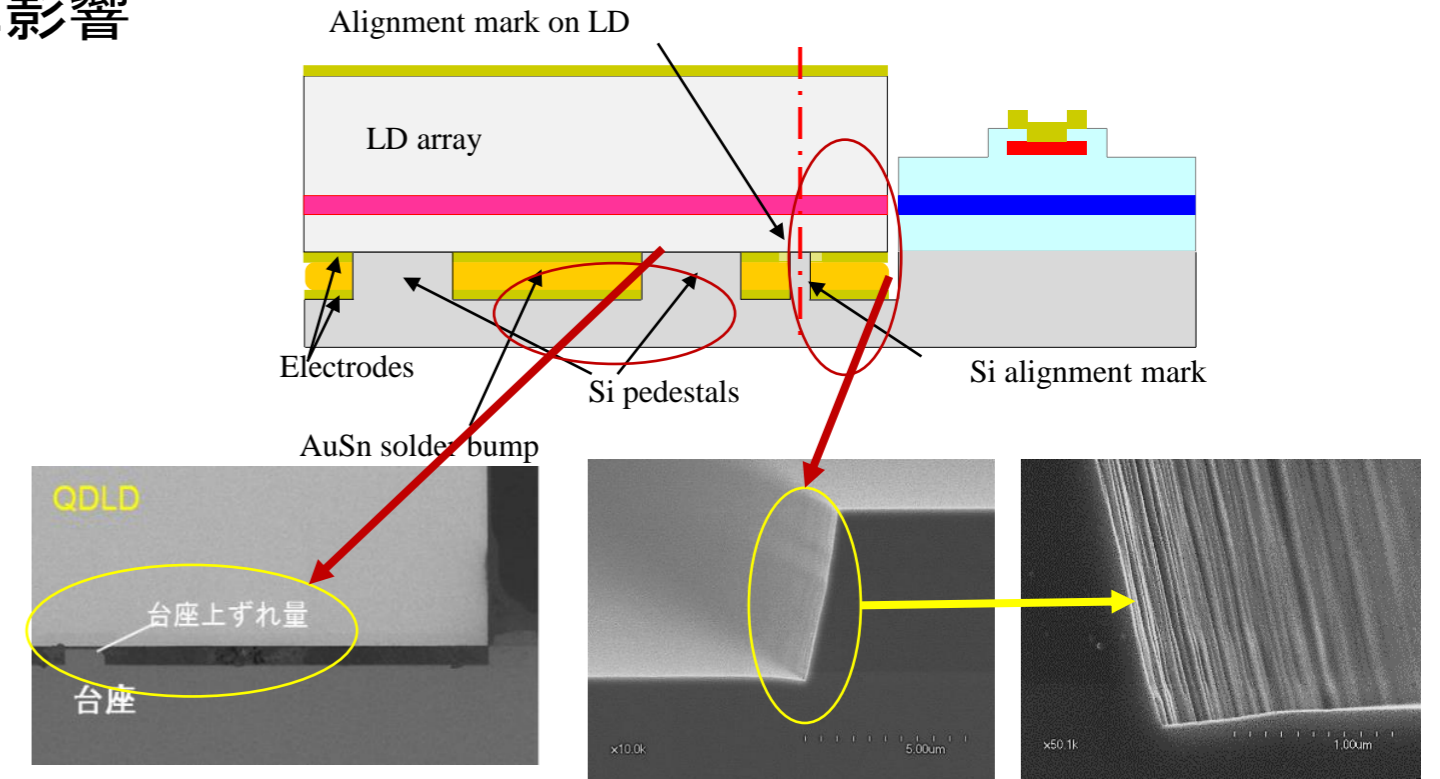
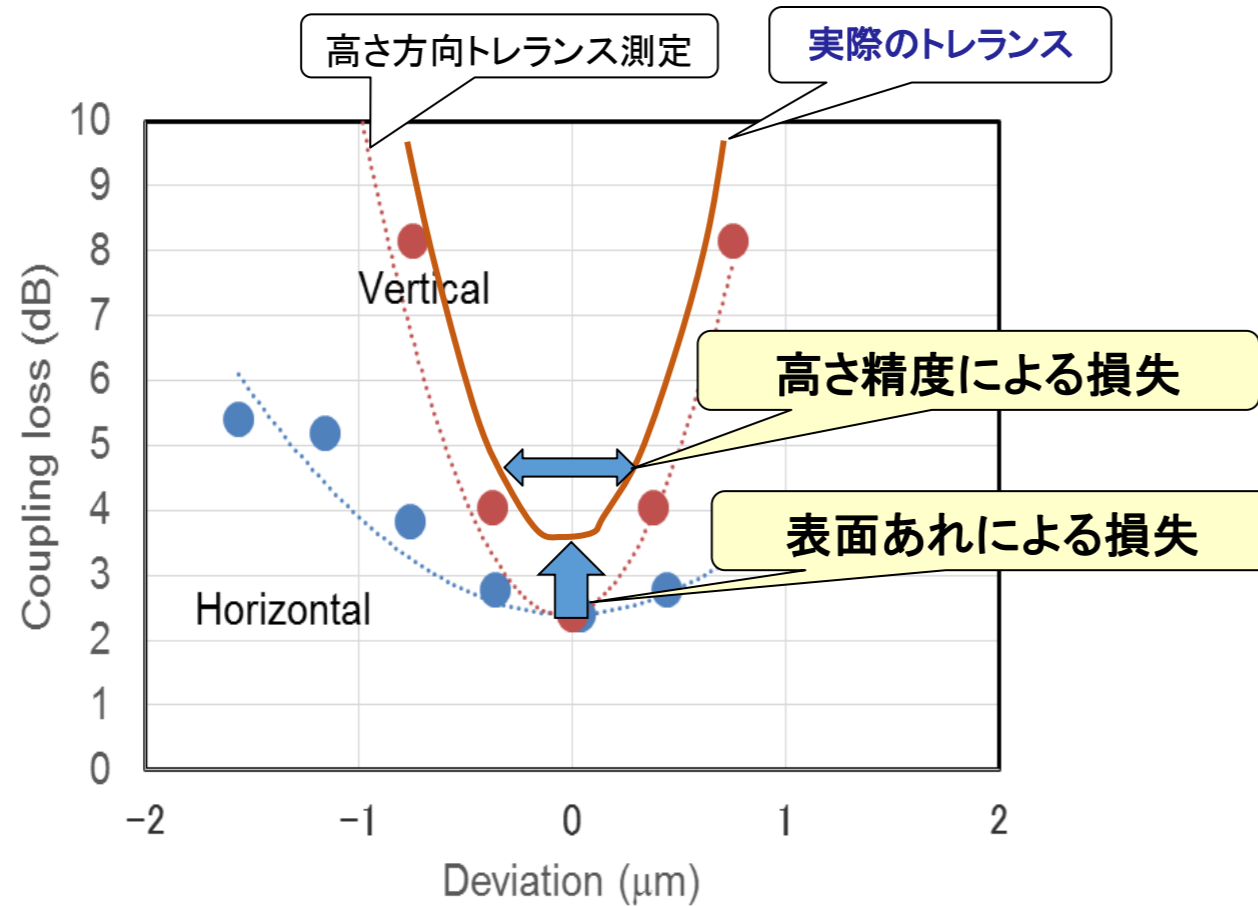
③ 受光素子周波数特性算



- Ge吸収層厚
- 受光素子受光径
- キャリア走行時間
- Ge吸収係数

3 (2) 1) LD光結合損失の低減

光I/OコアはベアチップLDのパッシブアライメント技術を採用
台座高さ精度とSiフォト導波路端面の面粗度、傾きが結合損に影響
⇒プロセス条件出しを繰り返し精度を向上



台座高さ、浮きによる
高さ方向位置ずれ

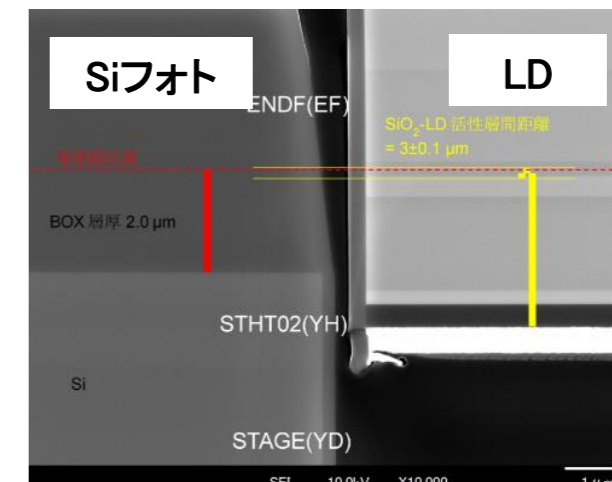
端面角度、表面あれによる損失増加

目標 高さ精度:<100nm 端面角度:>81° 表面粗:<50nm

SiO₂深掘エッチングとSiリセスエッチング条件出しを行い目標仕様を達成

- SiO₂エッチング側壁角度：85度以上
- ウェハ一面内均一な台座エッチング深さ精度<40 nm
- 実デバイスウェハでの検証を実施

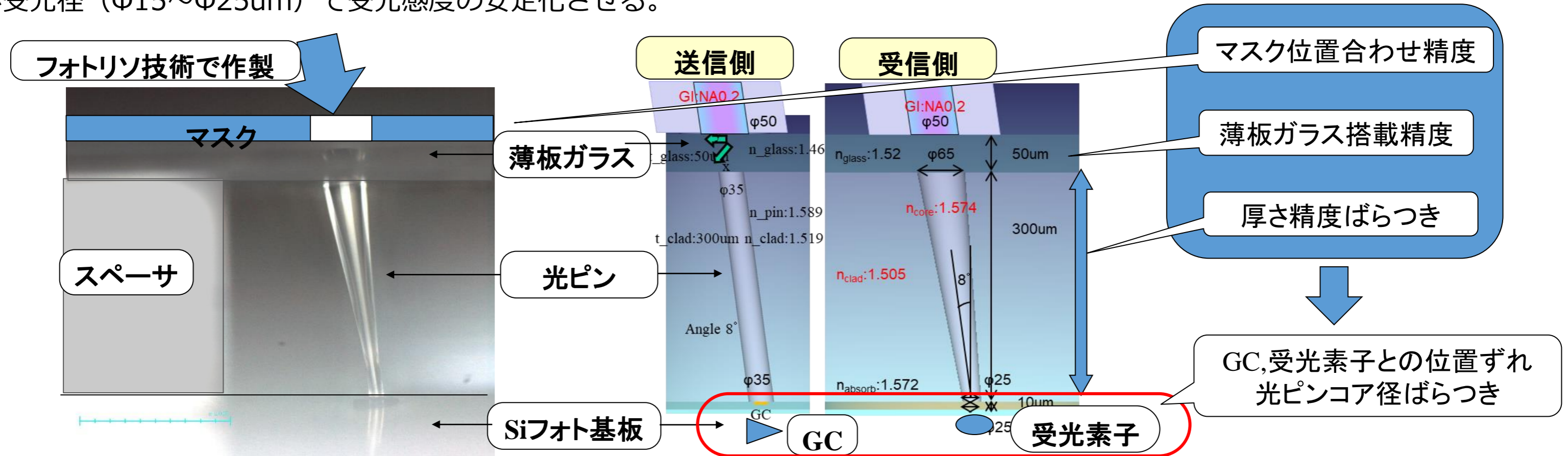
結合損失評価結果は後述



LD搭載度、突き当て面断面

3_(2)_2) 光ピンの高精度化

光ピンの精度は、マスクの位置合わせ精度だけではなく、周辺部材のスペーサーや薄板ガラスの高さばらつき、傾きの影響を受ける。実装工程の設備の高精度化、自動化を行う事で、光ピンの位置精度、ピン径のばらつきを抑制小受光径（ $\phi 15 \sim \phi 25 \mu\text{m}$ ）で受光感度の安定化させる。



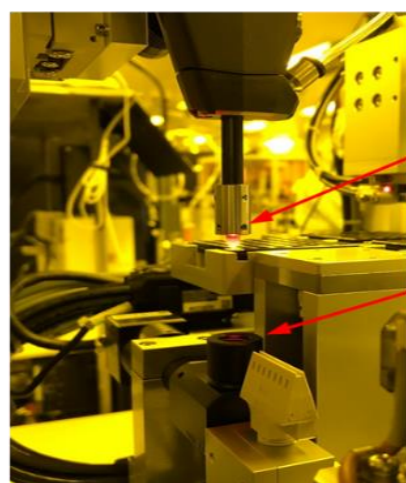
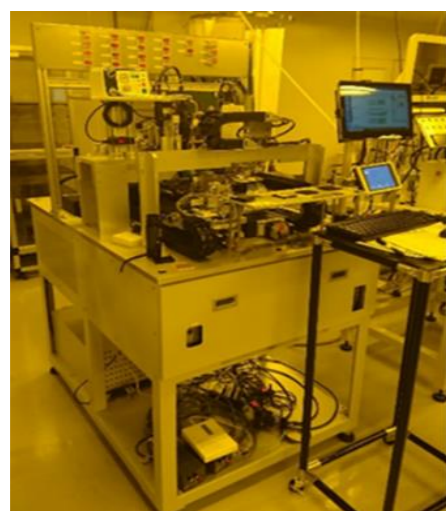
光ピン高精度化、高均一化課題

- i) 光ピン形成用の紫外線硬化樹脂注入位置および高さ、注入量の安定化
- ii) 光ピンを形成する薄板ガラスと露光マスクの間隙の均一化
- iii) 光ピン現像工程の最適化と安定化
- 現像液注入→静置→現像液排出をプログラム制御する光ピン形成用自動現像装置を導入
- エタノール洗浄を最適組合せ条件を求め、現像の過不足によるピン径のばらつきを改善
- 光ピン細径化及び精度安定化条件導出を継続中。

3-1. 研究開発成果

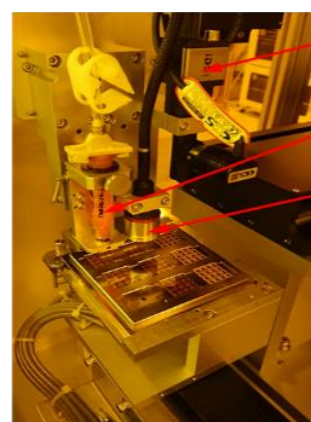
3_(2)_2) 光ピンの高精度化

光ピン形成に影響する各部材の実装精度を向上し
0.4A/Wから0.5A/Wと受光感度の向上を実現



整列するガラスの
XYθz補正が可能な
搬送系を採用

ガラス整列精度向上用
認識光学系を導入



位置補正認識カメラ

シリンジセット部

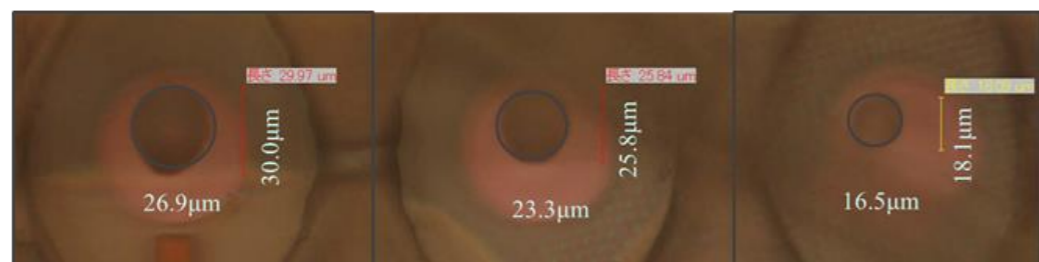
樹脂膜厚測定センサ



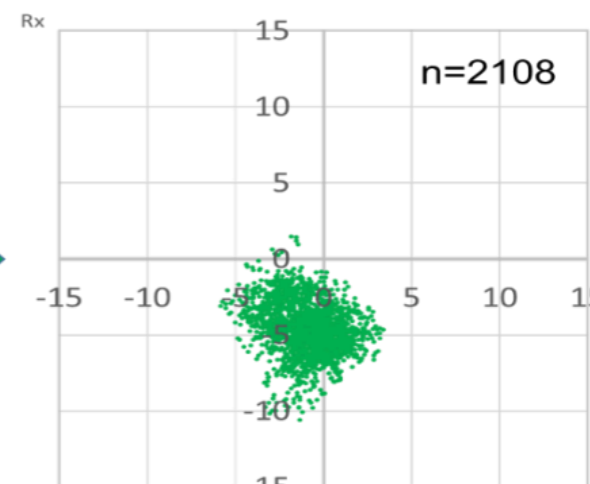
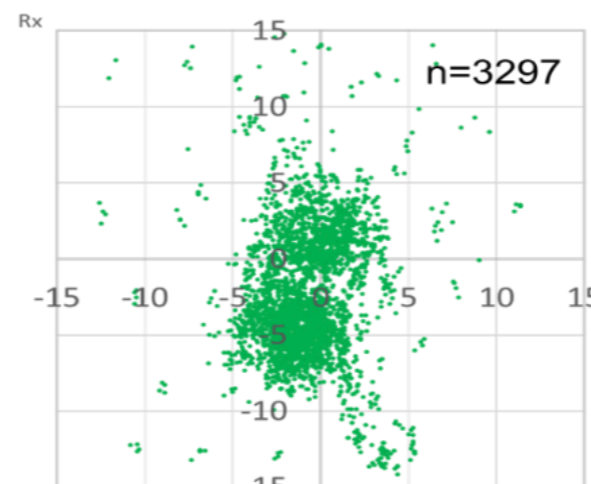
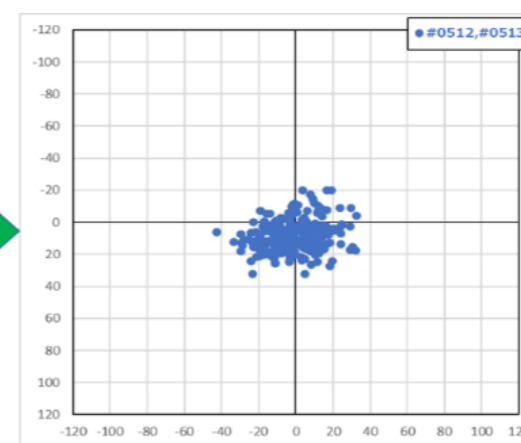
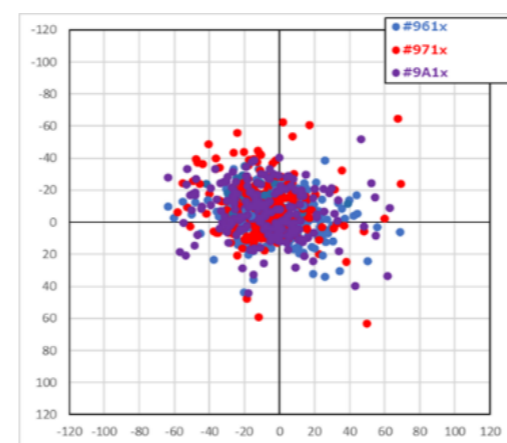
樹脂塗布部

樹脂膜厚測定例

マスクの開口径を小さくし細径化

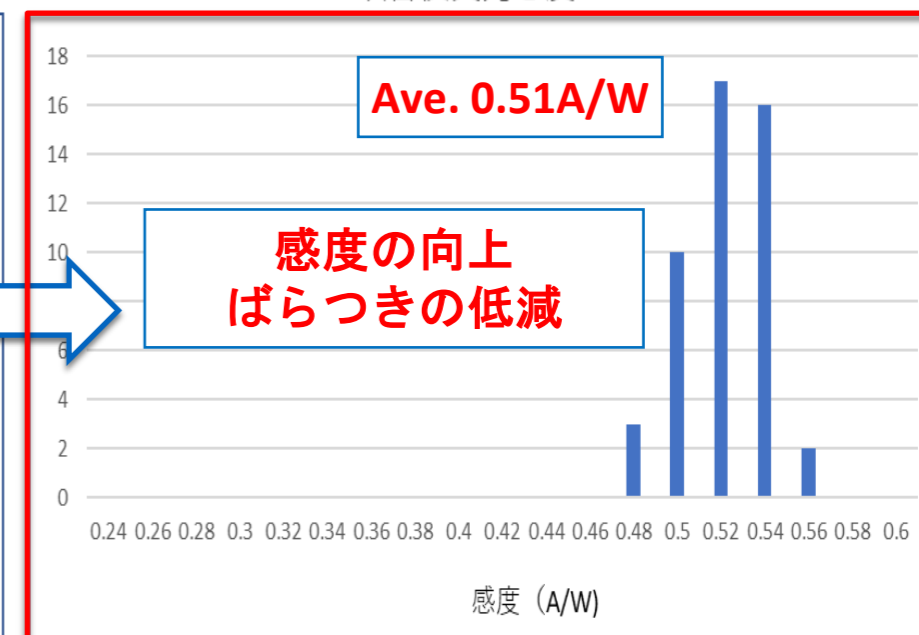
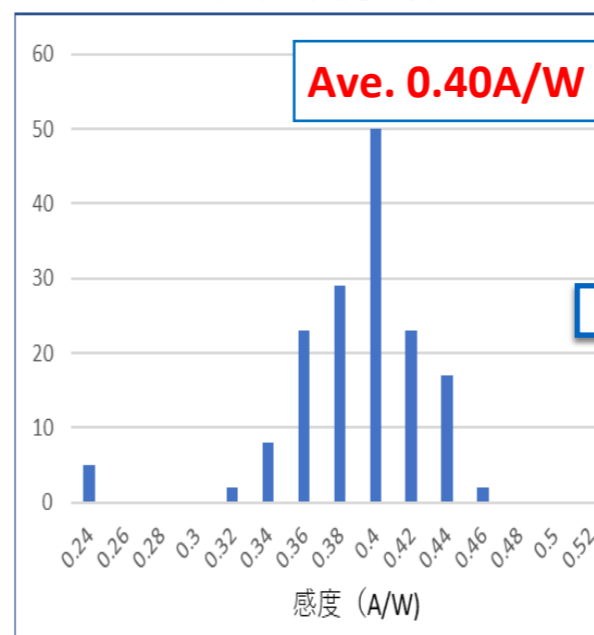


受光径(15~20 μm)に適合のコア径作製確認



従来の受光感度

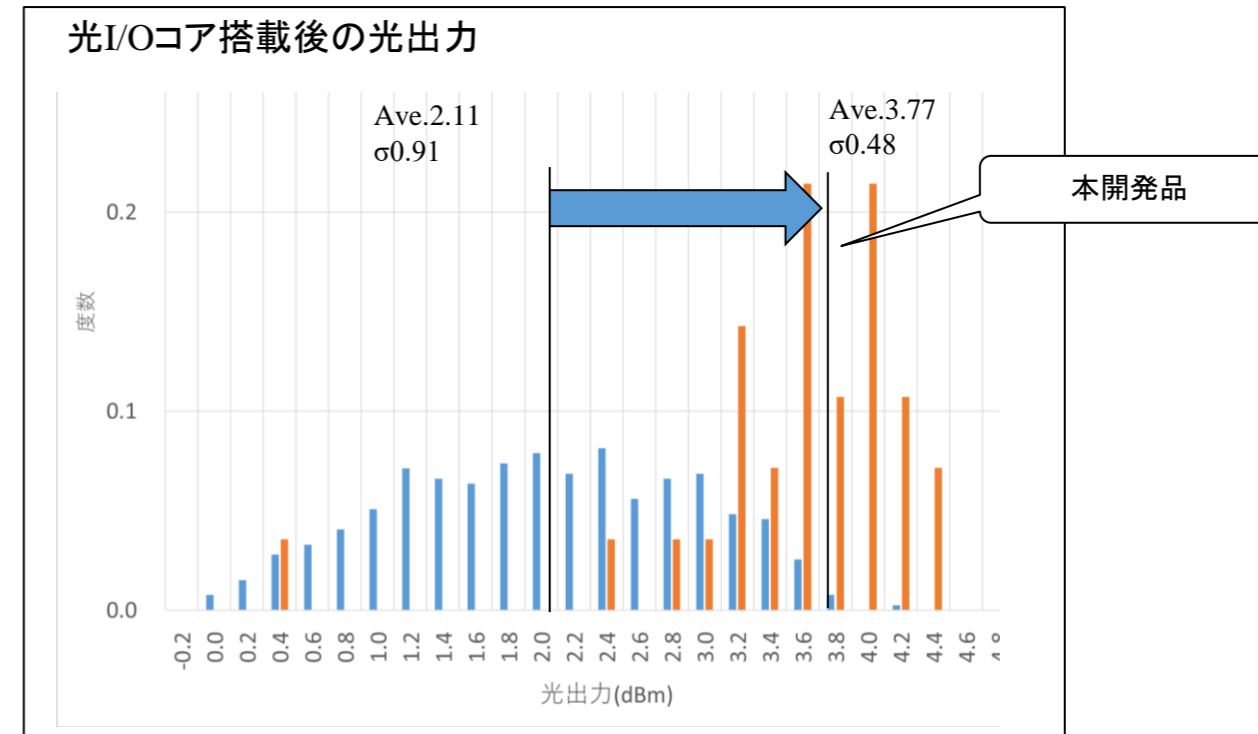
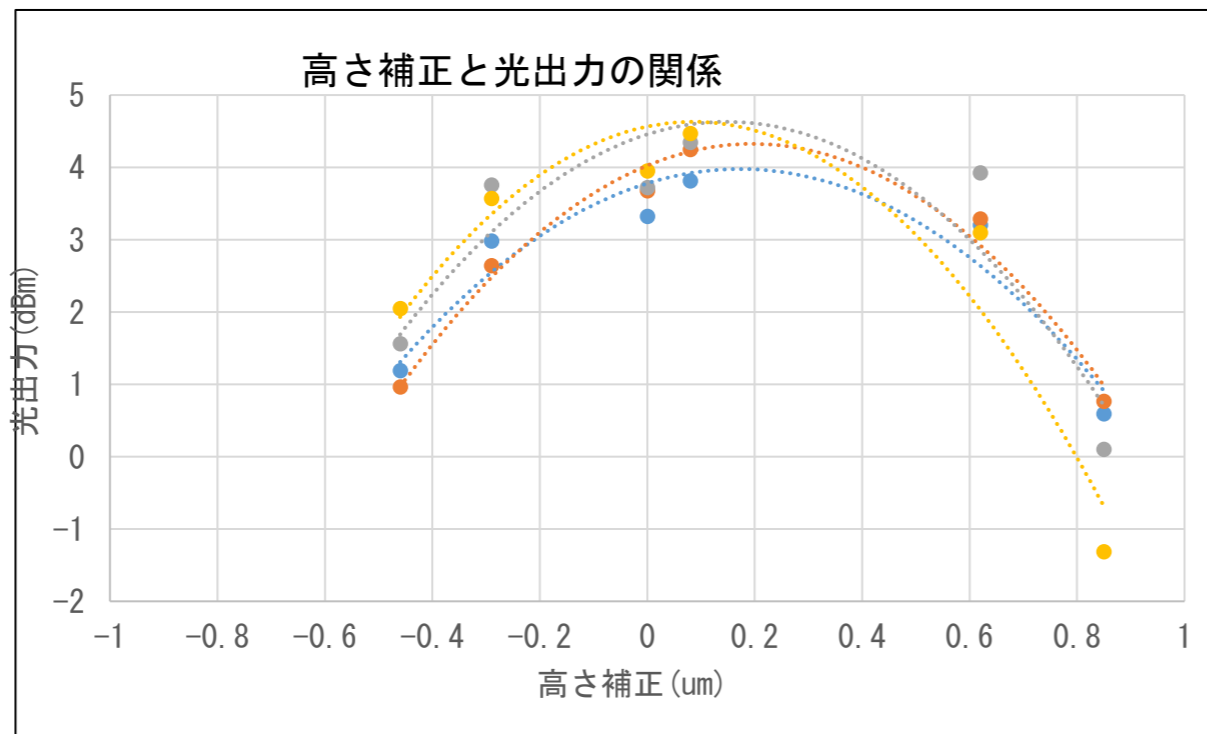
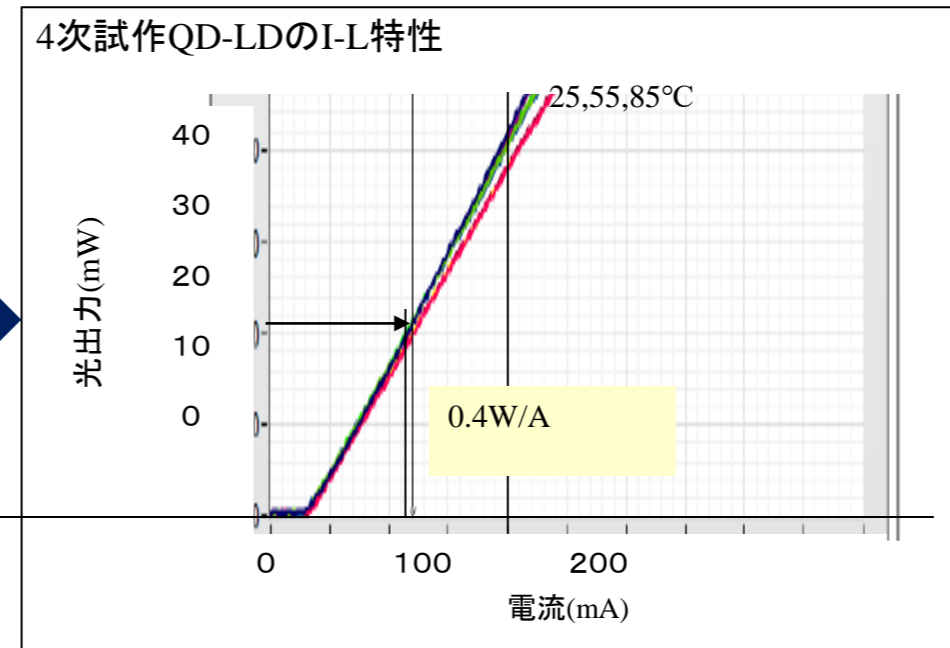
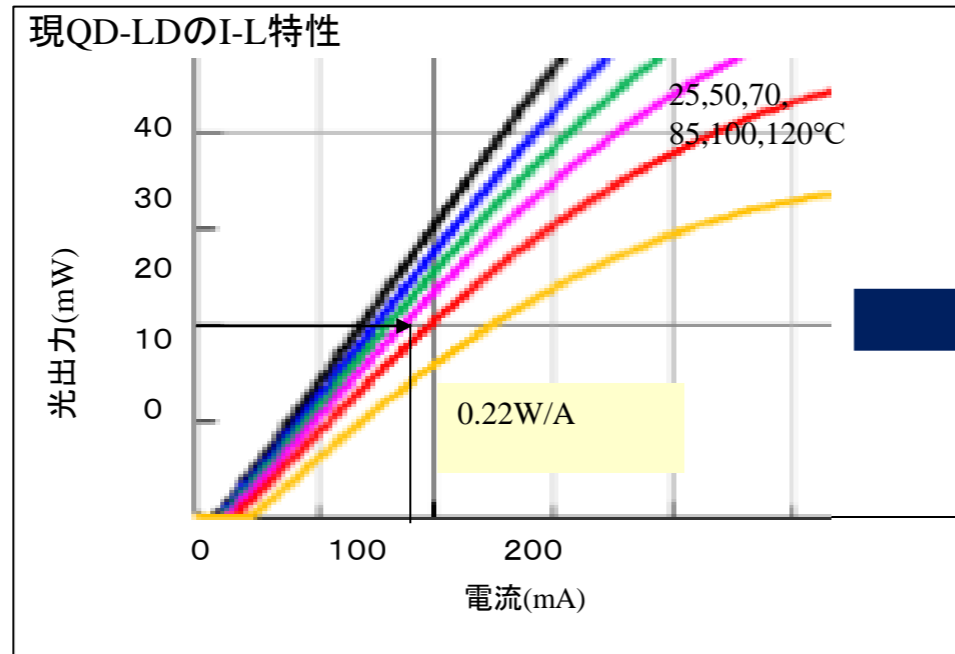
改善後受光感度



3-1. 研究開発成果

3_(3) 量子ドットレーザーの発光効率の向上

- ・LDの共振器長、コーティング反射率、基板タイプを見直し発光効率を向上 & MFDとSSCの最適化で結合効率を低減
- ・QD-LDで発光効率0.22W/A⇒0.4W/Aを実現
- ・光I/Oコアチップに搭載し **光出力1.6dB向上、駆動電流100mA⇒約60mA**で従来と同一出力を確認



3-1.研究開発成果

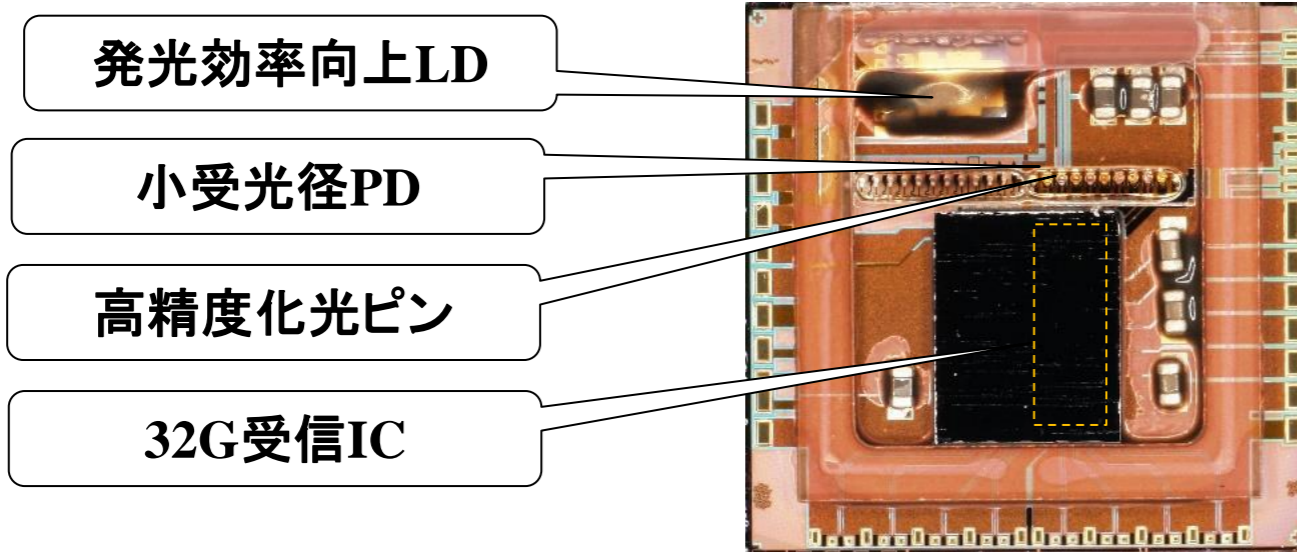
3_(3) 総合評価

- 各施策を取りいれたSiフォトチップ、IC、LDを用い光I/Oコアを試作
モジュール化し特性を評価

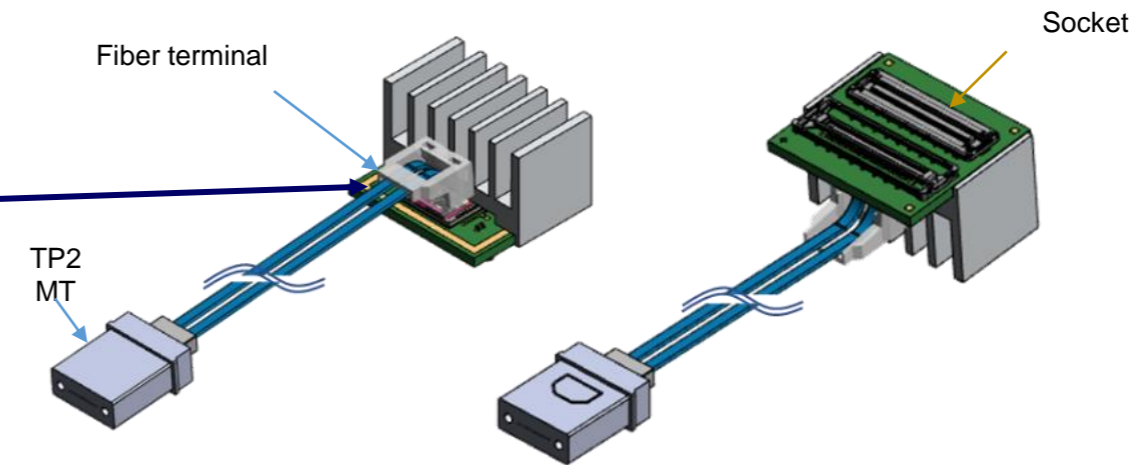
・EOM (Embedded optical module)
光I/Oコアを搭載した光モジュール

・光I/Oコア

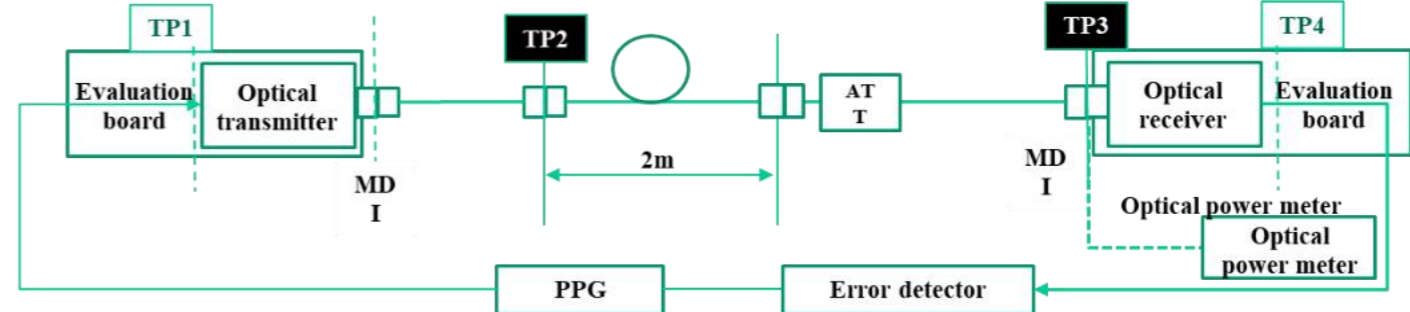
小受光径PD、高精度化LD台座を形成したSiフォト基板に
開発したIC,LDを搭載、高精度化光ピンを形成



・モジュール

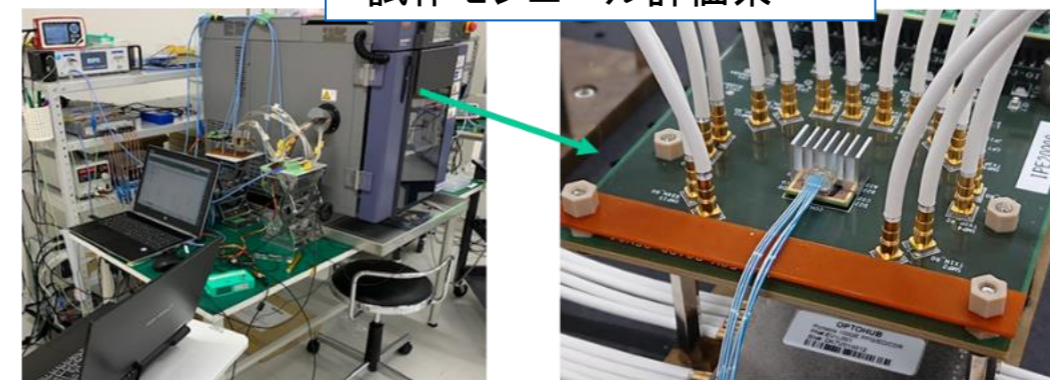


評価系 (back to back)



- ・外観、ピン配置は現行の25Gbps光I/Oコアと同一

・試作モジュール評価系

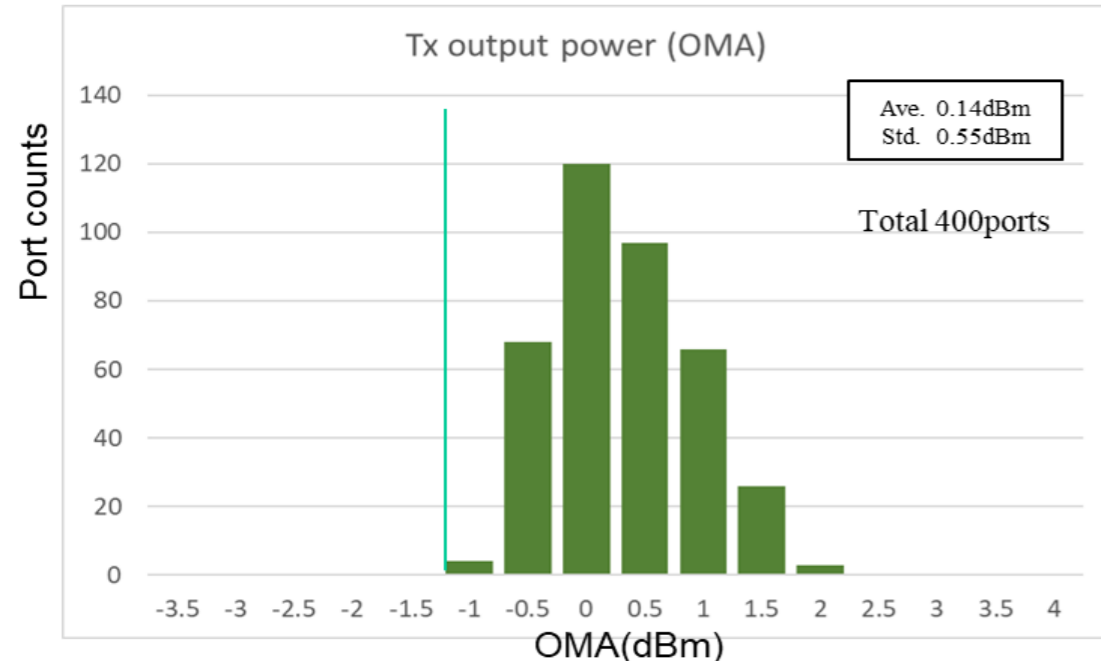


Test setup

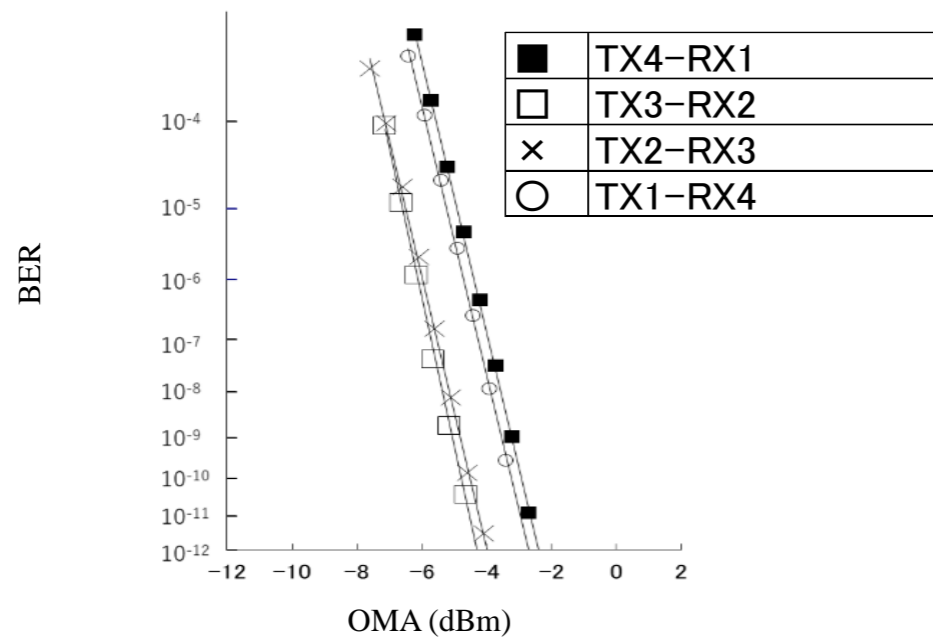
EOM on a test board

3_(3) 総合評価(2) 評価結果

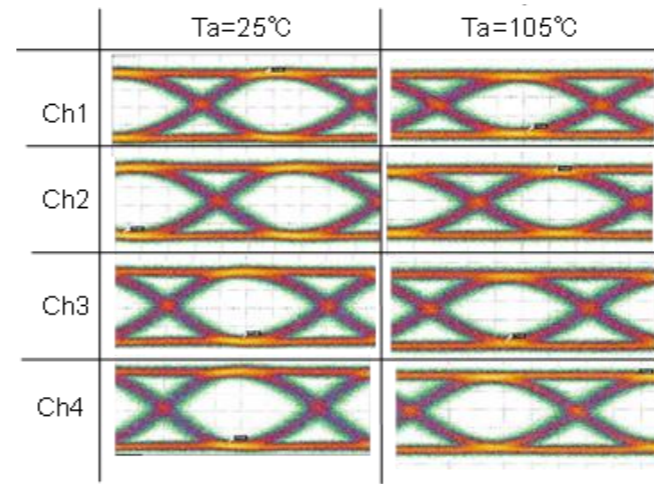
・送受信同時動作において32Gbpsのリンク接続特性を確認 TX



光出力特性

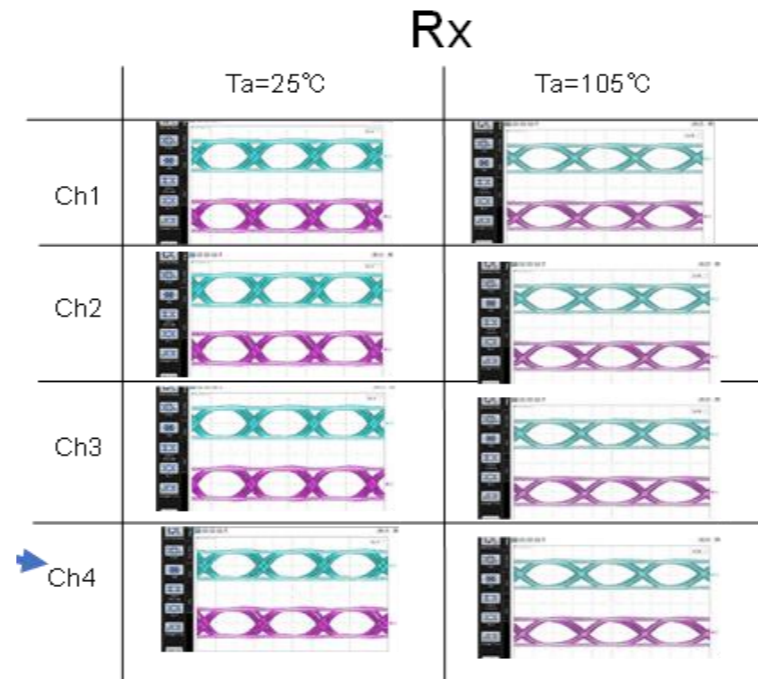


受信感度



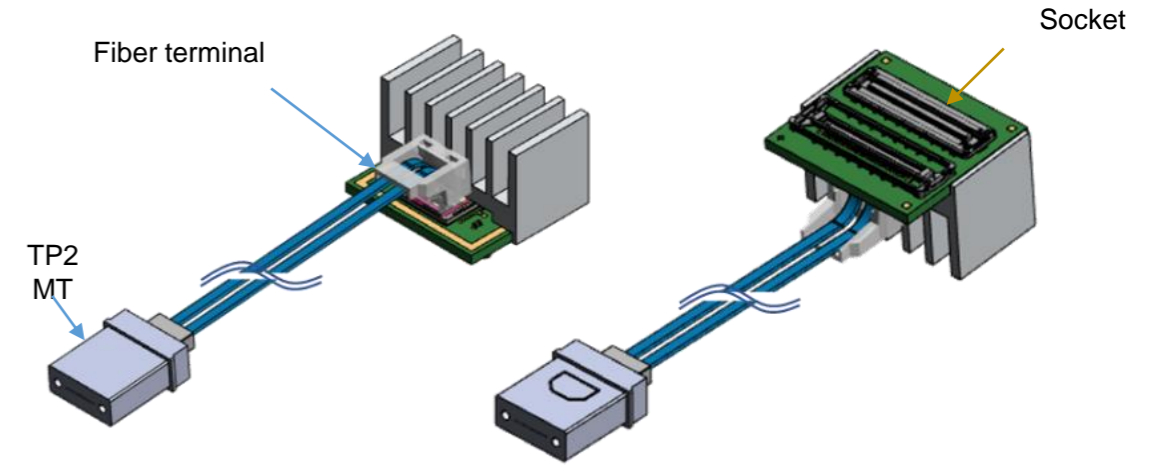
・32Gbps/ PRBS31/ TX,RX All Lane active

光出力波形



・32Gbps/ PRBS31/ TX,RX All Lane active

受信器電気出力波形



・消費電力: 7.8mW/Gbps

3-2 今後の展望: 事業動向

コンピュータ系の光インターコネクションに関する議論が浮上、活発化している
 32Gbpsの実際のアプリケーション拡大は2023以降と予想、システム検討、試作は既に始まっている。
 光I/Oコアをモジュール化するパートナー企業と共同で拡販を開始
 有望な顧客へコンタクト、データ提供、サンプル評価の協議を開始している。

CPO applications

アイオーコアはコンピューティング領域に注力 PCIe gen5(32Gbps, NRZ)

Traditional Datacenter Networking

Compute End-Point

AI Training / HPC

Future Systems w/ Disaggregation

Applications		
Medium Scale		
AI Training	Disaggregation	
	Non-memory	Memory
32G NRZ	32G NRZ	32G NRZ
PCIe gen 5 / CXL	PCIe gen 5 / CXL	PCIe gen 5 / CXL
TBD	PCIe switch	switchless or optical switch

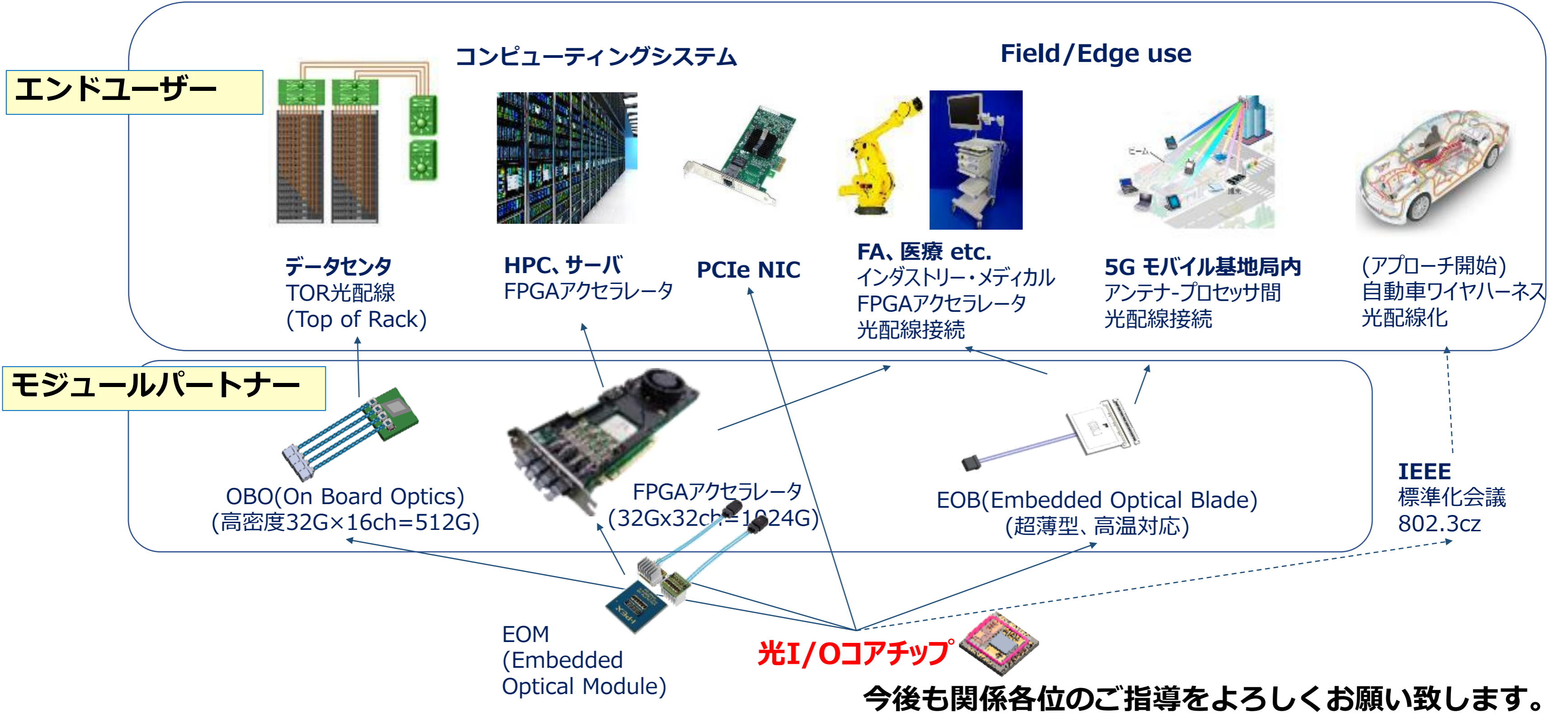
OIF2020資料を加工

競争の多くはデータセンタNWのスイッチ用途に注力
 1.6~3.2Tbpsを1パッケージに収容にチャレンジ
 50G(PAM4)、100G(PAM4)とWDM

Switches

Microsoft Azure

様々な分野のシステムに適合する光トランシーバをモジュールパートナーとカスタマイズし適用領域を拡大の所存



今後も関係各位のご指導をよろしくお願い致します。