

全電子式光ビーム走査デバイス とライダー

横浜国立大学 大学院工学研究院
知的構造の創生部門

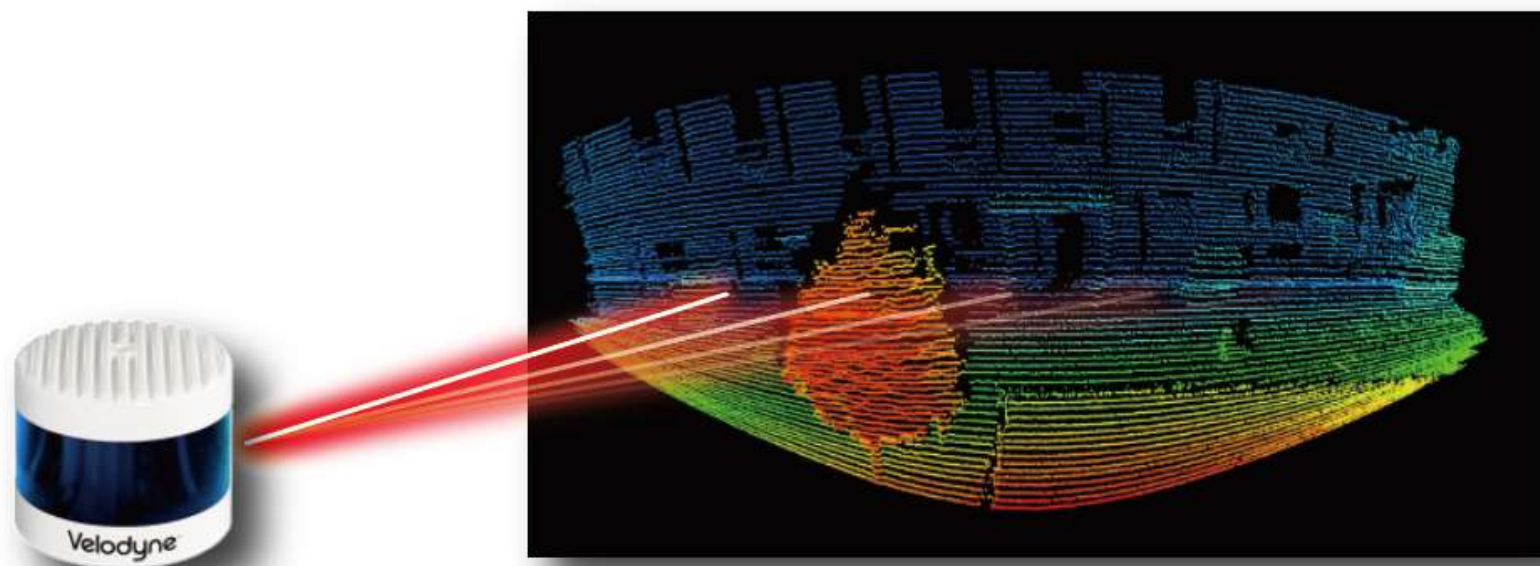
教授 馬場 俊彦

2021年2月5日

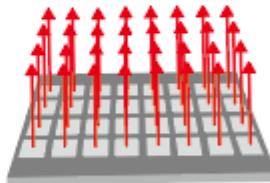
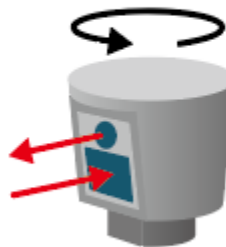
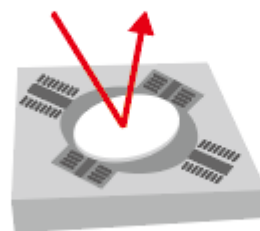
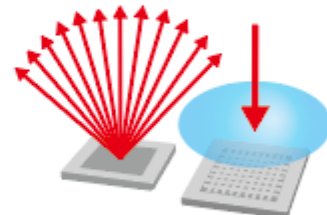
ライダとは

Light **D**etection **A**nd **R**anging: **LiDAR**

光ビーム偏向と測距を繰り返して
3Dイメージを取得するセンサ

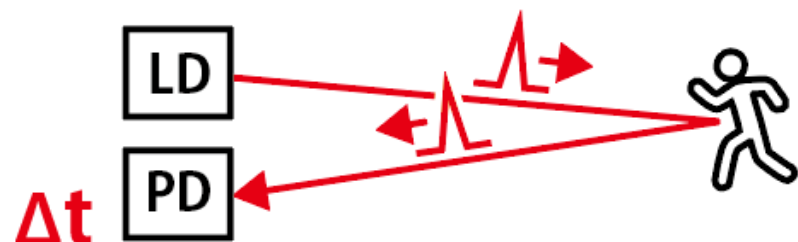


ライダと他の3Dセンサの比較

デバイス	ステレオカメラ 	ミリ波レーダー 	機械式ライダ 	MEMSライダ 	フラッシュライダ 
特徴	カメラ技術 三角測量	電波技術 アレイ化で 空間解像	レーザ技術 機械式ミラーで 光ビーム走査	半導体技術で 機械式ミラーを 形成	光ビームを走査 せず拡散・照射
利点	高解像度	雨雪に強い	高解像度	大量生産可能	単純, 小型
欠点	低距離分解能 生産に難	低解像度 狭い視野	大型, 高価 不安定	解像度, 視野, 速度がトレードオフ	近距離, 屋内 高出力光源

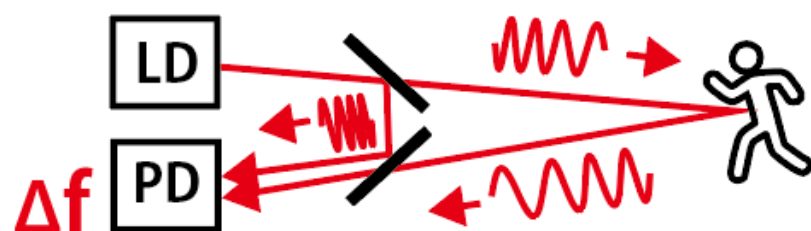
ライダの測距方式

TOF (光パルスの往復時間を計測, ライダの定番)



- 構成が単純, 幅広く実用化
- 高強度パルスレーザと高感度検出器が必要
これらの素子が入手可能な波長 $< 1 \mu\text{m}$ 帯が好適
- 太陽光などの影響を除去するフィルタが必要
他のライダとの干渉は今後の課題

FMCW (光の周波数ずれを計測, 先進的なライダ)



- 構成が複雑, 実用化は限定的
- 連続光を利用, アイセーフ波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯が必要
- 精密な光回路が必要, 小型化には集積化が有効
- コヒーレント検波で高感度
太陽光や他のライダの影響がない, フィルタ不要
- 距離と速度も検出可能, 応用範囲が広い

様々な応用

距離のイメージ化

動きのイメージ化



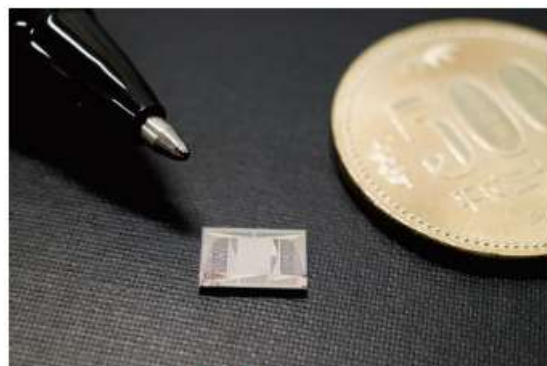
市販のライダ

原則, TOF方式

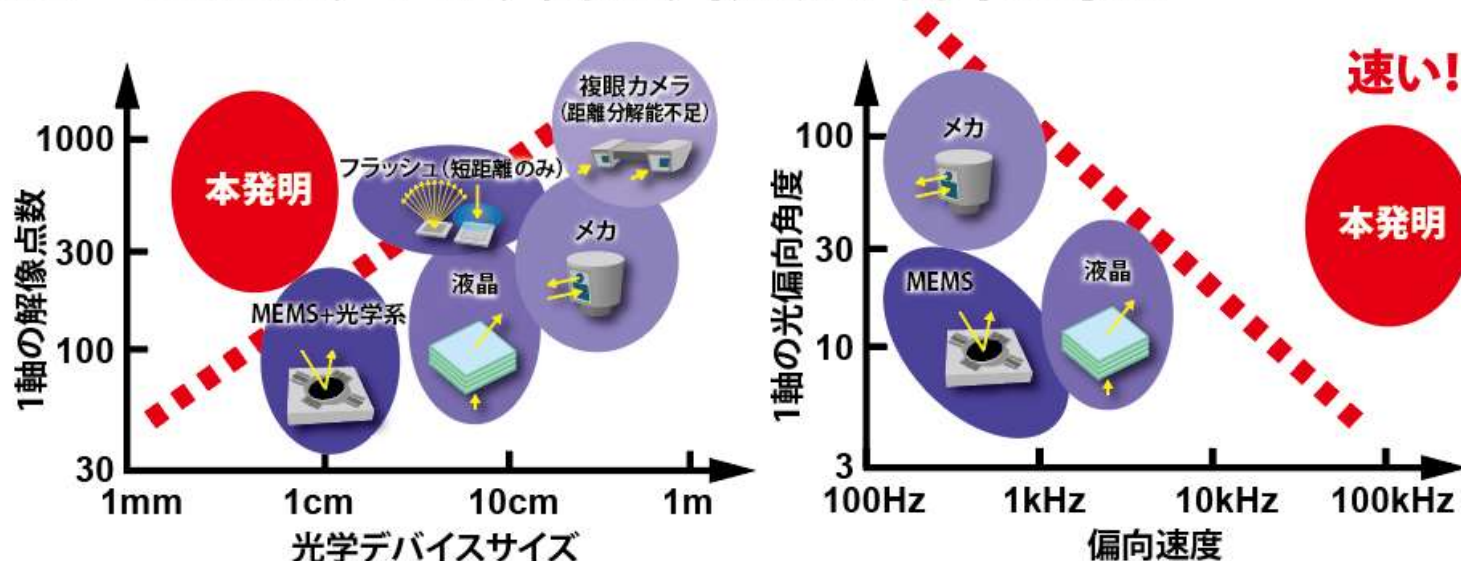
波長	光ビーム偏向方式				
	機械式			非機械式	
	ロータリー モーター	ポリゴン, ガルバノ ジンバル, etc.	MEMS	フェーズド アレイ	フラッシュ
<1 μ m	Velodyne  Ouster  Robo Sense  HESAI 	Valeo  Cepton  オムロン  コニカミルタ  北陽電機 	日本信号  Pioneer / Canon  Innoviz  Robo Sense  京セラ 	Quanergy 	Apple  XenomatiX  パナソニック  Sense  Continental 
1.5 μ m (アイセーフ)		Luminar  Blackmore / Aurora  Aeva 	FMCW 		ASC 

光ビーム走査の全電子化のメリット

- 機械を使わずに光ビーム走査, 小型, 高速, 振動や衝撃に強い



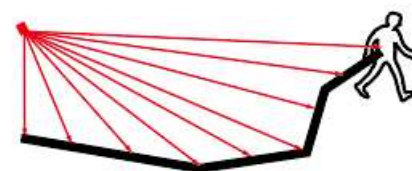
小さい!



- 半導体技術で低コスト大量生産が可能
- 何処に何個でも配置. カバーエリアは個数でスケールング
- 機械の動きに制限されない自由な光ビーム走査
見たいところを見られる, 対象物の追尾も可能

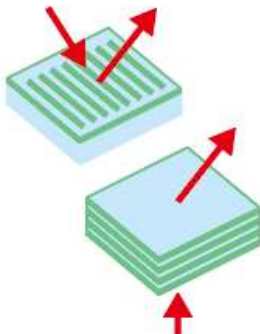
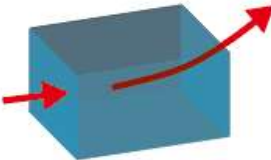
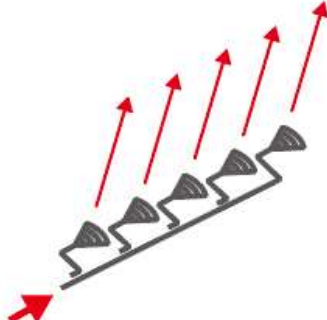
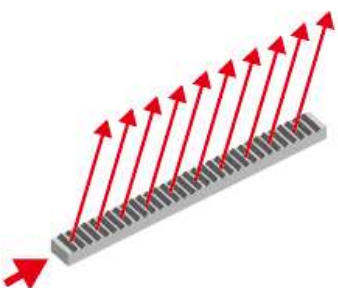
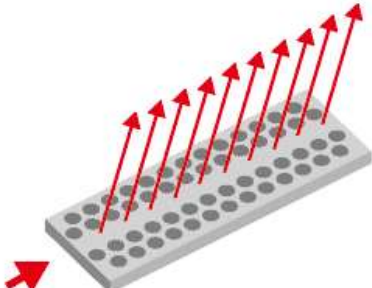


いくつでも



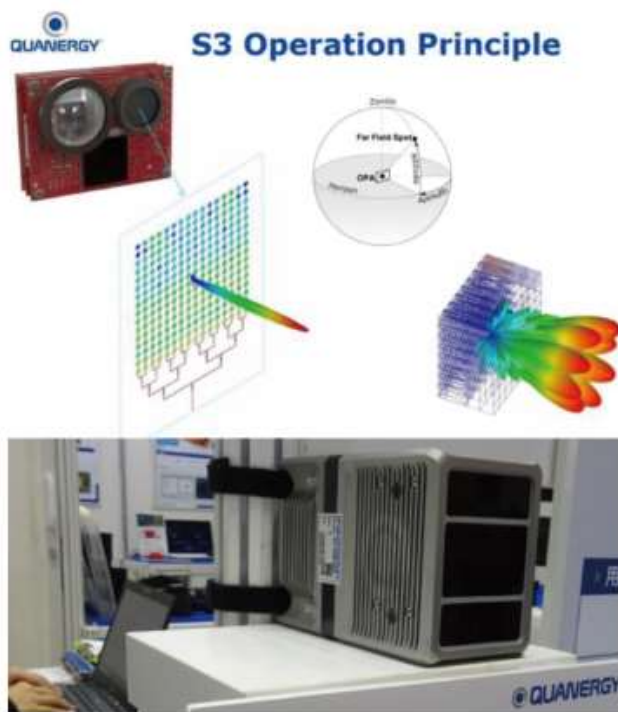
自由に

全電子式光ビーム走査デバイス

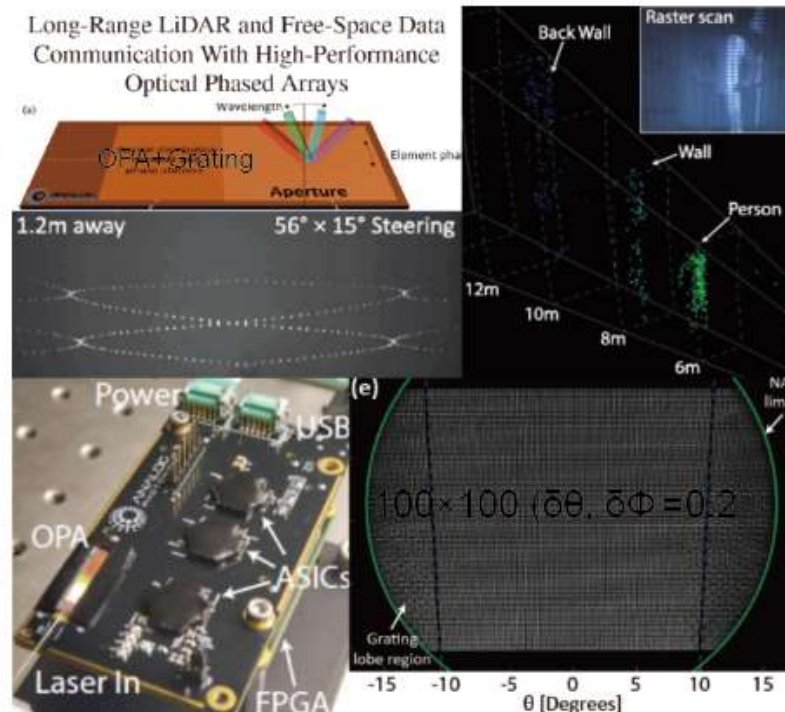
材料	液晶	EO・AO 結晶	Si フォトニクス材料，化合物半導体		
素子	反射型  透過型 		光フェーズド アレイ (OPA) 	導波路 回折格子 	スローライト (フォトニック結晶) 
利点	高解像度	単純 高速	光回路集積可能 自由な光偏向	光回路集積可能 高解像度 古典的・成熟	光回路集積可能 高解像度 高速
欠点	バルク素子 高電圧 温度依存性	バルク素子 高電圧 狭視野	光学損失 高度な製作・調整 高消費電力	狭視野	光学損失

全電子式光ビーム走査の試み

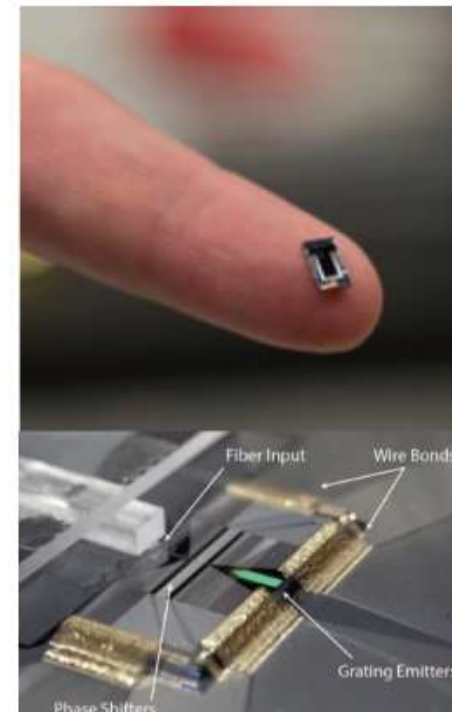
Quanergy (2016～)



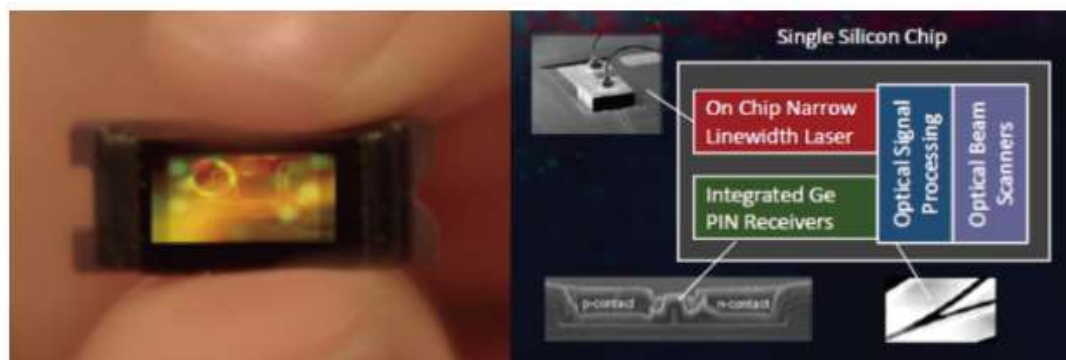
Analog Photonics (2017～)



Voyant Photonics (2019～)



Si LC Vision (2019～)

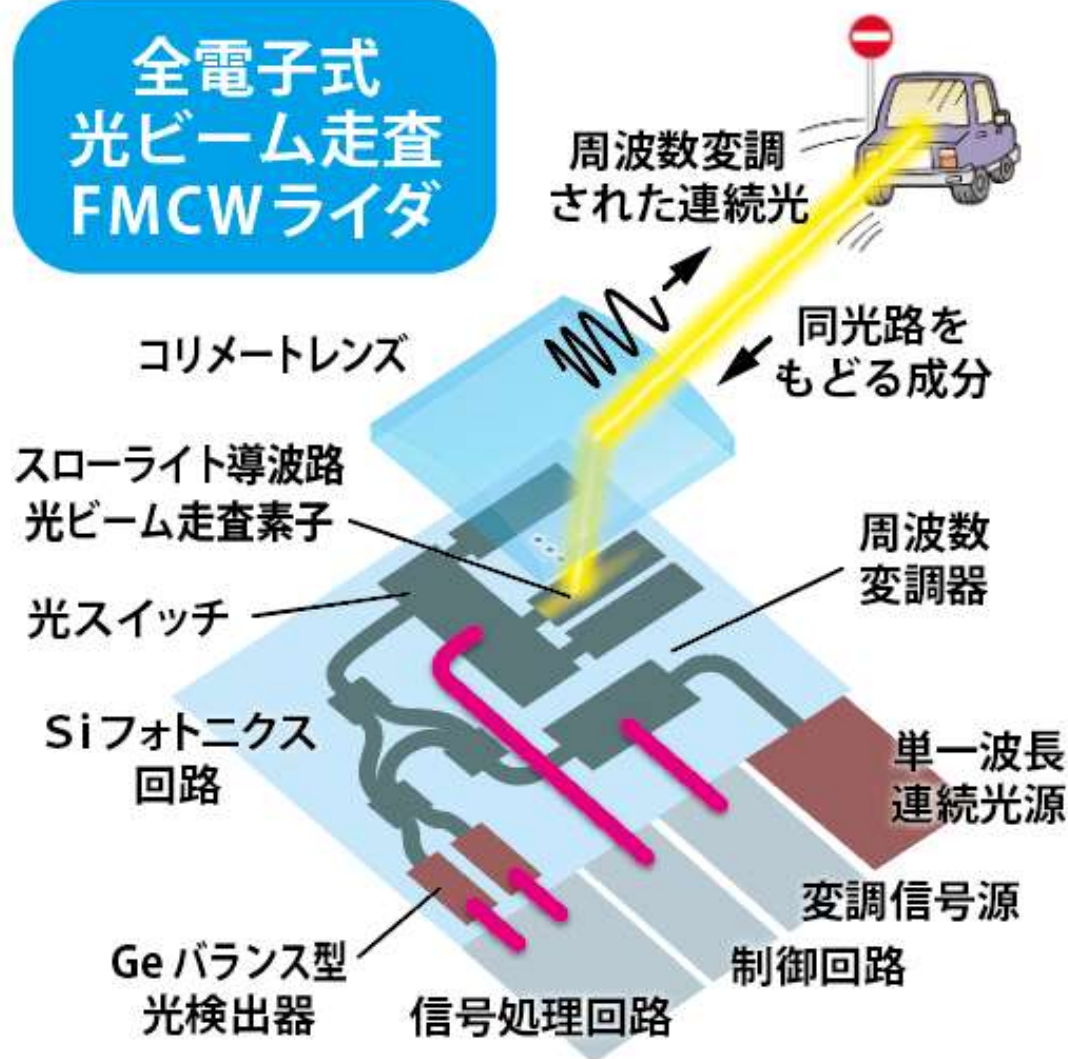


3社は光フェーズドアレイを利用
2社が LiDAR 動作を報告

Quanergy: 20 m 動作?, Ceatec 展示
Analog Photonics: 静止画, 会議発表

ACCELプロジェクトでの開発

全電子式 光ビーム走査 FMCWライダ



基盤技術 ● **Siフォトニクス**

測距方式 ● FMCW

光走査原理 ● 熱光学効果 × **スローライト**

光走査方向 ● 1次元／2次元

- 重要な特長
- Si半導体プロセスで製作
(光通信・OCT技術活用可)
 - アイセーフ波長 $1.5\mu\text{m}$ 帯
 - コヒーレント検波で高感度、
太陽光や他のライダの影響を排除
 - 速度や振動も計測できる

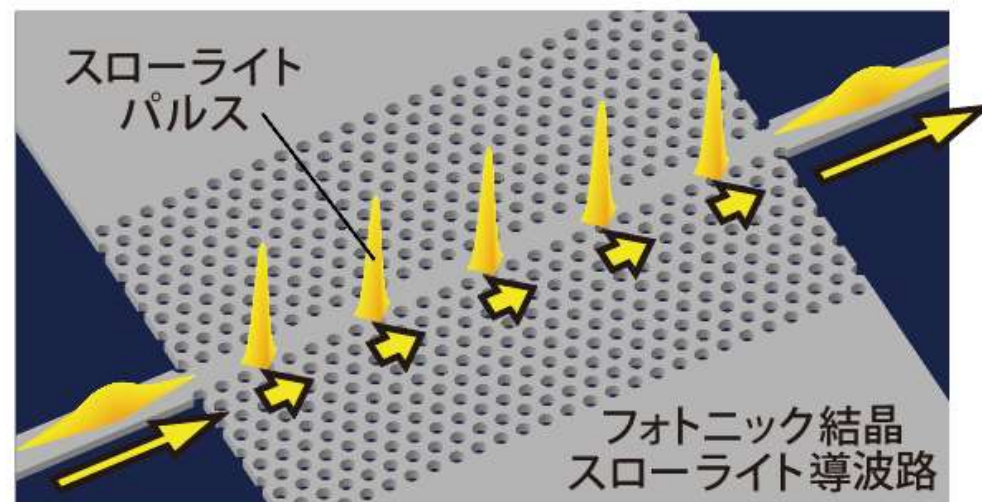
スローライトとは

群速度 : $V_g = (dk/d\omega)^{-1}$

群屈折率 : $n_g = c(dk/d\omega)$

(群速度の低下率)

大きな 1 次分散
により発生する



(Baba, *Nature Photonics* **2**, 465 (2008))

これを全電子式光ビーム走査に適用すると性能が増大

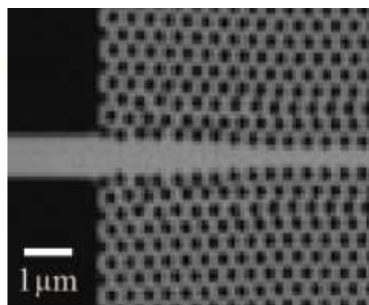
通常の回折格子と比べて波長や屈折率に対する感度が 5～10 倍
→ 大きな走査範囲が可能になる

(馬場, 小山, 特願 2016-10844 (2016); 米中欧出願済み)

技術開発の詳細

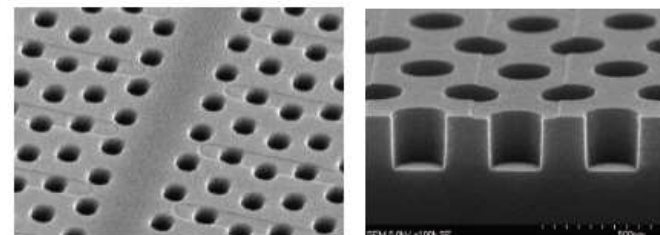
スローライトの低損失化

機械学習を駆使して
スローライトの接続損失
を0.1dBに



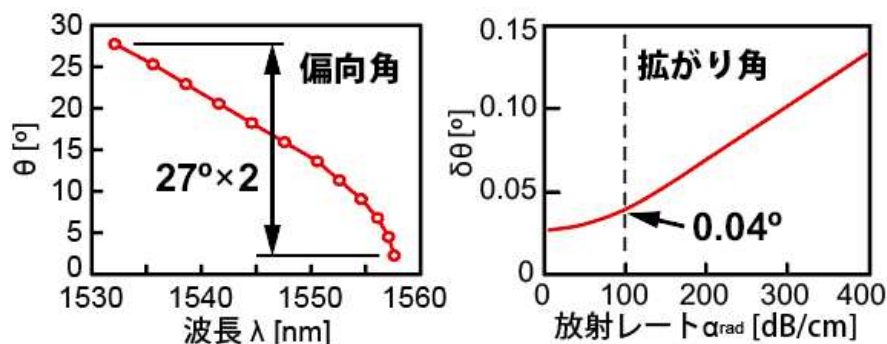
光ビーム形成のための加工技術

深さ10nmの回折格子の均一な形成に成功



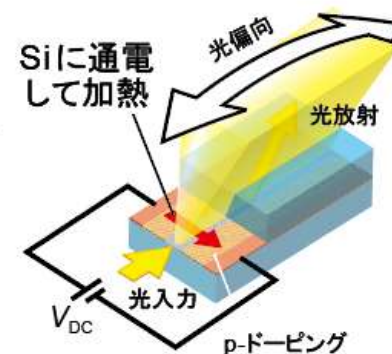
光ビーム走査のためのスローライト設計

狭角ビームを広角に偏向, 解像点数 > 1,000



高速な光走査

熱光学効果を使って
2 MHzの高速動作
(広角では世界最速)

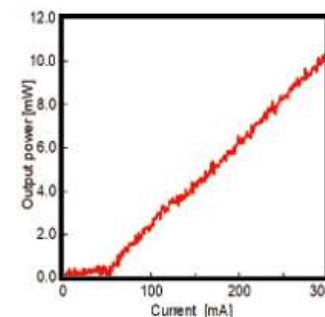
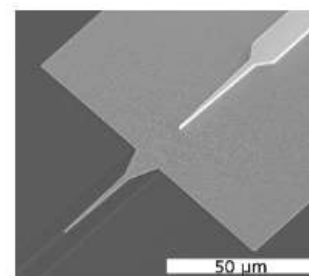
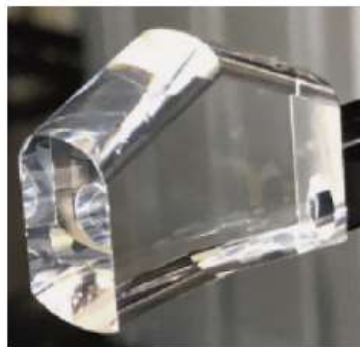


Si上へのレーザ集積技術開発

InP系半導体を直接貼り付け, レーザ発振

独自のレンズ設計で 均一な光走査を実現

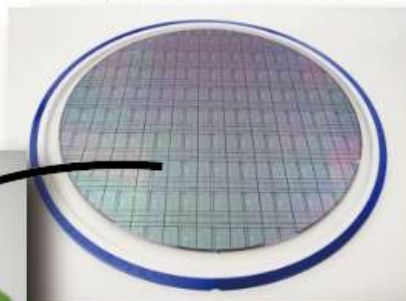
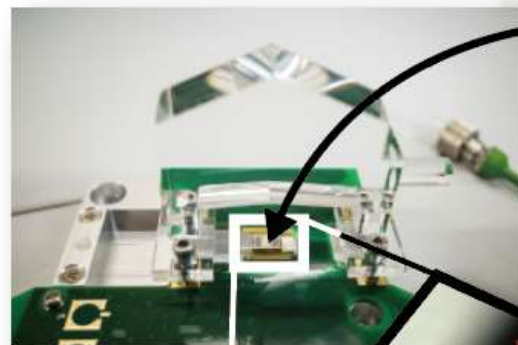
全く新しい設計法を
発見. ビーム角度に
無依存な特性を実現



全電子式光ビーム走査の実証

8~12インチ SOIウエハ
CMOSプロセス

プリズムレンズも搭載した
光・電気実装



2D光偏向

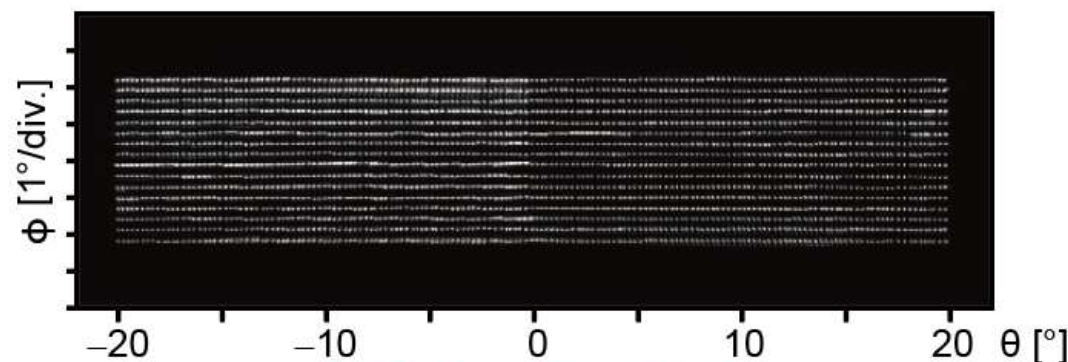


Siフォトリクス
LiDARチップ

FPGA駆動回路 (さらにワンボード化も)



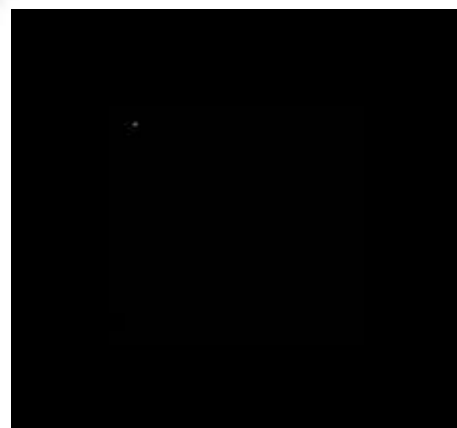
世界最高レベルの非機械式2D光偏向!



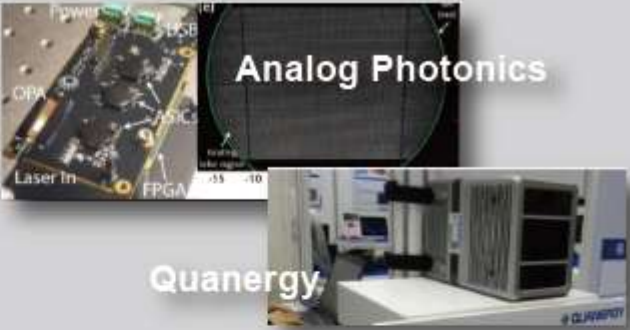
自由度の高い偏向



MHz級の動作



光フェーズドアレイとの比較

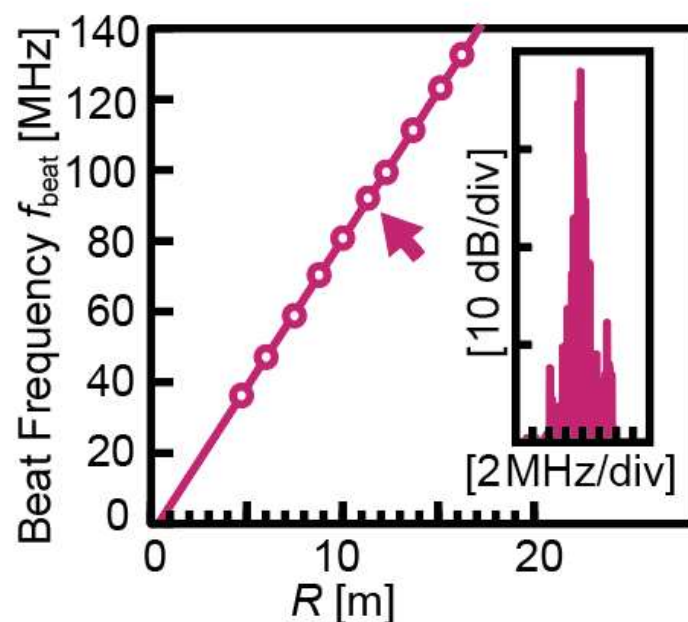
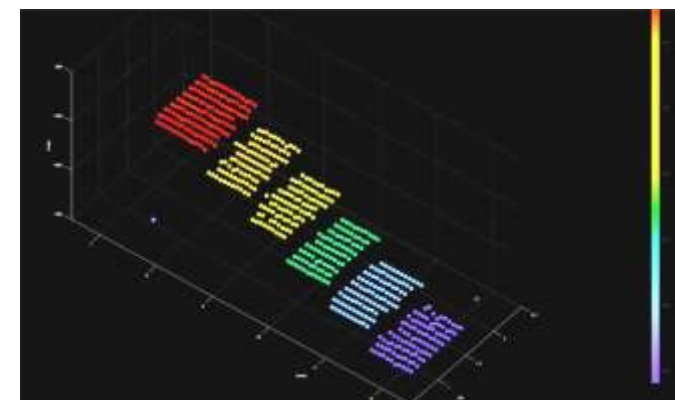
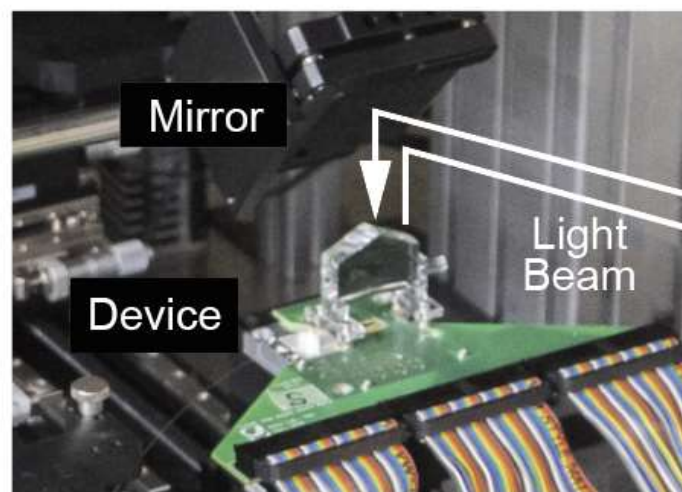
	光フェーズドアレイ	スローライト
		
最終目標 サイズ	1 cm 角チップ (開口の拡大が困難)	名刺の半分のサイズ (開口はレンズで拡大可)
製作・調整	最先端プロセス・複雑	汎用プロセス・比較的容易
光学損失	一般に大きい (10～30dB)	やや大きい (10～15dB)
光源	波長掃引レーザ	固定波長レーザ
解像点数	一軸で 50 ～ 100 ビーム拡がり $0.1^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 偏向角 $10^{\circ} \sim >100^{\circ}$	一軸で 200 ～ >400 ビーム拡がり $0.05^{\circ} \sim 0.2^{\circ}$ 偏向角 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$
走査速度	100 kHz オーダー ?	100 kHz オーダー

ライダの構築

ワンボックス化



空間ビームによる測距



現在,

- 1) S/N 改善
- 2) 全自動化
- 3) モジュール



実用化に向けた課題

- チップの作り込み，各部の低損失化，それによる高感度化
- 熱光学効果の安定的な制御，耐久試験
- 3Dイメージ（点群映像）の取得を全自動化してライダーとして完成させ，フィールド試験を可能にする
- 各用途に向けた仕様の明確化と，その実現に向けた最適化
- 電子回路のワンチップ化による全体の小型化
- 企業での生産に向けては，Siプロセスファブや実装業者，レーザーメーカーとの協業，低コスト化

Siフォトリソプロセスの利用

- 単独のウエハ製造費用は約1億円(500チップ／ウエハ枚)。
ただし費用は枚数には比例しないので、作るほど低コスト化。
量産すれば500円／チップと予想。
- レーザとファイバ実装の費用を加えて、将来は1万円を期待。
実装の低コスト化は重要(電子回路やソフトは別途必要)
- 開発段階であれば、シヤトルプロセスの利用で低コスト化も
可能(AISTのプロセスなら400～500万円／30チップ)

企業様へ

- 企業様が目的とする応用に向けて、本ライダ技術の完成度を高め、実用化してもらうことを期待しています。
- 自社には応用が無くても、本ライダと整合する技術をお持ちの企業様に製造企業となっていただくことも期待します。
- 従来のライダだけでなく、物体の動き（速度や振動）をイメージ化する新しい応用展開にも有効と思われます。
- 三菱総研様の調査によれば、車載、携帯端末、他の応用でライダの市場規模は2025年に1兆円に迫ります。

3Dセンサの様々な応用

距離のイメージ化

動きのイメージ化



本技術に関する知的財産権

- 馬場俊彦, 小山二三夫, “光偏向デバイスおよびライダー装置”, PCT/JP2017/625.
- 馬場俊彦, 西山伸彦, “光偏向デバイスおよびライダー装置”, PCT/JP/2017/023747.
- 馬場俊彦, 竹内萌江ら, “光偏向デバイス、及びライダー装置”, PCT/JP2017/42955.
- 馬場俊彦, 竹内萌江, “光偏向デバイス”, PCT/JP2018/006385 .
- 馬場俊彦, 竹内萌江, 伊藤寛之, “光偏向デバイス”, 特開2018-180115.
- 馬場俊彦, 竹内梧朗, 竹内萌江ら, “光偏向デバイス”, PCT/ JP2018/014586.
- 馬場俊彦, 近藤圭祐ら, “光受信器アレイ, 及びライダー装置”, PCT/2018/0219605
- 馬場俊彦, 竹内萌江, 伊藤寛之, 楠侑真, “光偏向デバイス”, PT/JP2018/031052
- 馬場俊彦, 竹内梧朗ら, “光偏向デバイス”, PCT/ JP2018/014586.
- 馬場俊彦, 近藤圭祐ら, “光受信器アレイ, 及びライダー装置”, PCT/JP2018/019605.
- 馬場俊彦, 阿部紘士, 秋山大地, “プリズムレンズ”, PCT/JP2019/040829

など. 上記氏名は発明人. 出願人は全て横浜国立大学(一部, 東工大と共願)

お問い合わせ先

横浜国立大学

産学官連携推進部門

産官学連携支援室

TEL 045-339-4382

FAX 045-339-4387

e-mail yamamoto-ryoichi-hm@ynu.ac.jp