

小型化・低消費電力な光フェイズド アレイレーザビームスキャナ

早稲田大学 理工学術院先進理工学研究科 物理及応用物理学専攻

教授 北 智洋

2022年11月22日



レーザビームスキャナ

<u>機械的ビームスキャン</u>

- ・すでに多くの製品化
- ・装置の大型化
- ・可動部分の耐久性に難

ポリゴンミラーを用いたビームスキャン



<u> 光フェーズドアレイを用いた非機械式ビームスキャン</u>

・機械的動作部品が無いので小型、高耐久性
 ・電気的に導波路間の位相差を制御している
 ため大消費電力(約 3-10 W [1-2])





[1] J. K. Doylend, et al., Opt. Exp. 19, 21595-21604 (2011).

[2] D. N. Hutchison, et al., Optica 3, 887-890 (2016).

光フェーズドアレイを用いた非機械式ビームスキャン方法



光フェーズドアレイを用いた非機械式ビームスキャナ

シリコンフォトニクスを用いた光フェーズドアレイは 非常に小型で非機械式のビームスキャンが可能

[1] J. K. Doylend, et al., Opt. Exp. 19, 21595-21604 (2011).
[2] D. N. Hutchison, et al., Optica 3, 887-890 (2016).



1個あたりの消費電力数mW~数十mW

光フェーズドアレイの解像点数はアンテナ数に比例 ⇒高解像度な大規模光フェーズドアレイでは位相シフタだけで 数Wの電力を消費

> シリコンフォトニクスを用いて小型・低消費電力な 非機械式ビームスキャナを実現



[3] K. V. Acoleyen, et al., IEEE Photon. Tech. Lett. 23, 1270-1272, (2011).



波長掃引型光フェーズドアレイ

波長と出射角度の関係(シミュレーション)



波長掃引のみによって二次元的に出射角度を制御



シリコン光導波路の製造誤差の影響

シリコン導波路の導波路幅の製造誤差の標準偏差1.7 nm →光導波路の屈折率に影響を与える $\times 10^{-4}$ 0.01 σ of $\Delta n_{\rm eff}$ $\Delta n_{\rm eff}$ 0 -0.010 3 5 -5 0 width of waveguide (μ m) width error (nm) 440 nm(W) × 220 nm(H) 導波路の 導波路幅と実効屈折率の 誤差の関係∆n_{eff} 実効屈折率の製造誤差依存性

導波路幅を大きくすることで誤差の影響を低減できる 幅440 nm × 高さ220 nm 導波路 : σ of Δn_{eff} is 4 × 10⁻³ 幅3.2 µm × 高さ220 nm 導波路 : σ of Δn_{eff} is 1 × 10⁻⁵





実測結果



スキャン範囲:43.9°×13.5°ビーム幅:0.534°×2.27°



ハイブリッド波長可変レーザ



波長可変レーザも集積化した 1チップレーザビームスキャナ

[4] T. Kita, et al., IEEE J. Sel. Top. Quant. Electron., 22 23-34, (2016).





実測結果



波長掃引(ビームスキャン)に要する消費電力: 65 mW



電気的な位相シフタを用いた先行研究との比較

	[1]	[2]	[5]	[6]	本研究
アンテナーつ当たりの消費電 (mW/ch.)	〕力 215 (TO)	80 (TO)	160 (EO)	12 (TO)	1.02 (TO)
アンテナ数	16	128	32	50	64
総消費電力(mW)	3440	10240	5120	600	65
 [1] J. K. Doylend, et al., Opt. Exp. 19, 21595-21604 (2011). [2] D. N. Hutchison, et al., Optica 3, 887-890 (2016). 	 [5] J. C. Hulme, et al., Opt. Exp. 23, 6509-6519 (2015). [6] C. V. Poulton, et al., Opt. Lett. 42, 4091-4094 (2017). 		^{3,} TO = 42, EO =	= thermo- = electro-	optical effec

・ビームスキャンに要する電力数十分の一

アンテナ数を増やしても消費電力は変化しない
 →アンテナ数の多い大規模フェーズドアレイにするほど低消費電力化



power consumption

[5] 本技術 **Tunable Laser** Grating GRIN Array Phase -Lens Modulators Photodiode Pre-amplifier Array 2x32 Splitter Channel Amplifiers [5] J. C. Hulme, et al., Opt. Exp. 23, 6509-6519 (2015). デバイスサイズ: 11.5 mm × 6 mm デバイスサイズ: 5 mm × 1.5 mm λ tunable range : 34.5 nm λ tunable range : 64.4 nm FOV: 23° × 3.6° FOV: 43.9° × 9.54° Beam width* : 1 ° \times 0.6 ° Beam width : $0.534^{\circ} \times 2.27^{\circ}$ アンテナ数:32 アンテナ数:64 解像点数:138 解像点数:328 消費電力: 5120 mW 消費電力: 65 mW FOM : 5.05 FOM: 0.0270 性能指数FOM = _______resolution point

* : Beam width is not well defined in [5]

13



想定される用途

- ・小型かつ低消費電力な本技術は自動運転用のLiDAR用のビームスキャナに最適
- 小型・低消費電力なLiDARの用途は、自動運転以外にもドローン、工作機械用のセンサーなどにも応用可能



実用化に向けた課題

- ・波長、出射方向の制御方法及び解像点数の 増加について検討が必要
- 実用化に向けて、波長制御の手法を確立する
 必要
- ・ θ_y方向にビームをコリメートする光学系の導入が必要





- 未解決のθ_y方向のビームコリメートは、シリンドリカルレンズ、波長制御手法については
 FPGA等を用いた電子回路により克服できると考えている。
- レンズ設計、電子回路設計の技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、LiDARを開発中の企業は、本技術の導入が有効と思われる。



本技術に関する知的財産権

- ・ 発明の名称:レーザビームスキャナ
- •出願番号 :特願2021-001760
- 出願人
- 発明者

- :早稲田大学
- :北 智洋



産学連携の経歴

- ・2012年-2016年 日本電気株式会社と共同研究実施
- 2013年-2014年 JST A-step (シーズ顕在化)に採択
- 2015年-2016年 JST A-step (シーズ育成)に採択
- 2018年-2021年 株式会社デンソーと共同研究実施



お問い合わせ先

早稲田大学 リサーチイノベーションセンター 知財・研究連携支援セクション(承認TLO) TEL 03-5286 - 9867 FAX 03-5286 - 8374 e-mail contact-tlo@list.waseda.jp