

ヘテロジニアス集積技術を用いた多次元光センシングデバイスの研究

研究代表者 北 智洋
(先進理工学部 応用物理学科 教授)

1. 研究課題

本研究では、シリコンフォトニクスを基盤としたヘテロジニアス集積技術を活用し、小型・低消費電力・高性能な多次元光センシングデバイスの実現を目的として研究を行った。特に、LiDAR や高精度距離計測に用いられる FMCW (Frequency-Modulated Continuous-Wave) 光源に着目し、狭線幅かつ高速波長掃引が可能なヘテロジニアス集積波長可変レーザの開発を進めた。2025 年度は、SiN/Si ハイブリッド構造を用いた波長可変レーザにおいて、低損失 SiN 導波路と高速熱光学位相シフタを組み合わせることで、狭線幅動作と高速周波数チャープの両立を目指した。また、FMCW LiDAR への応用を想定し、MHz オーダの繰返し周波数での周波数掃引光生成および自由空間距離計測実験を行った。

2. 主な研究成果

2025 年度は、SiN/Si ハイブリッド波長可変レーザを用いた高速 FMCW 光源の研究を中心に実施した。開発したデバイスでは、SiN リング共振器を用いた Vernier 型波長フィルタと、Si 導波路を用いた MMI 型熱光学位相シフタを集積化した。作製したレーザは、65.2 nm の広帯域波長可変動作を示し、2.3 kHz の狭線幅発振を達成した。さらに、MMI 位相シフタを用いることで、熱光学効果を利用しながらも 1 MHz の高繰返し周波数での周波数チャープ光生成に成功した。繰返し周波数 1 MHz において 0.66 GHz、100 kHz において 2.25 GHz のチャープ帯域を確認した。また、印加電圧波形にステップ状補償を加えることで、チャープ直線性の向上を行った。100 kHz 動作時には、フィードバック型線形化アルゴリズムを用いずに、高い直線性を持つ周波数チャープ光の生成に成功した。さらに、開発した光源を用いて FMCW 距離計測実験を行った。自由空間測距では、1 MHz の高速繰返し動作において 10 cm 間隔の距離差を識別可能であることを確認した。また、光ファイバをターゲットとした測距実験では、1 kHz 動作において 50 m の長距離測距を実証した。これらの成果により、熱光学効果を用いた波長掃引型光源としては極めて高速な MHz 級動作を、小型・集積化可能なシリコンフォトニクスプラットフォーム上で実現できることを示した。

3. 共同研究者

なし

4. 研究業績

4.1 学術論文

[1] Kiyoharu Tsujishita, Soma Kawano, and Tomohiro Kita, " Generation of modulated terahertz waves using a two-wavelength tunable heterogeneous laser diode and a silicon modulator based

on silicon photonics," Japanese Journal of Applied Physics 65, 08SP32 (2026).

[2] Tomohiro Kita and Kiyoharu Tsujishita, "Compact and Ultra-Low-Loss Inline Optical Power Monitor Based on Multimode Interference for Silicon Photonic Integrated Circuits," Journal of Lightwave Technology 44, pp. 4183-4191 (2026).

[3] Takeru Tsunoda and Tomohiro Kita, "A SiN/Si hybrid wavelength-tunable laser enabling megahertz-order FMCW ranging via thermo-optic phase modulation," Japanese Journal of Applied Physics 65, 07SP03 (2026).

[4] Risa Taniguchi, Momoka Komoda and Tomohiro Kita, "Effective resolution enhancement of a passive optical phased array using a multi-input star coupler," Japanese Journal of Applied Physics 65, 05SP10 (2026).

4.2 総説・著書

[1] 北 智洋, "シリコンフォトニクスヘテロジニアス波長可変レーザの開発と 1 チップ LiDAR への応用", シリコンフォトニクスによる光デバイスの開発と異種材料集積化(技術情報協会) pp. 91-97

4.3 招待講演

[1] Tomohiro Kita, "THz Modulated Wave Generation Using a Heterogeneous Two-Wavelength Tunable Laser Diode", Terahertz-Related Devices and Technologies (Tera Tech2025) ,2025, サラマンカ(スペイン).

4.4 受賞・表彰

[1] Kiyoharu Tsujishita, "Generation of Modulated THz Waves Using a Two-Wavelength Tunable Silicon Photonics Heterogeneous Laser Diode" MOC2025 Student Paper Award

4.5 学会および社会的活動

[1] 30th Microoptics conference (MOC2025) プラグラム委員長

[2] 応用物理学会微小光学研究会 実行委員

[3] 電子情報通信学会光集積及びシリコンフォトニクス特別研究専門委員会 専門委員

[4] IEEE Silicon Photonics Conference (SiPhotonics2026) プログラム委員

[5] IEEE International Semiconductor Laser Conference (ISLC2026) プログラム委員

5. 研究活動の課題と展望

本年度の研究により、SiN/Si ハイブリッド波長可変レーザを用いて、熱光学効果による MHz 級高速チャープ動作と狭線幅動作の両立が可能であることを示した。一方で、さらなる長距離・高精度測距を実現するためには、周波数チャープの非線形性低減、出力光強度の向上、外乱に対する安定性向上が課題となる。今後は、フィードバック制御やプレディストーション技術を導入することで、より高いチャープ直線性の実現を目指す。また、光フェーズドアレイ等のビームステアリングデバイスとの集積化を進め、1 チップ LiDAR システムへの展開を図る。さらに、可視光帯 SiN 集積回路や 800 nm 帯波長可変レーザの研究を進め、生体ラマンセンシングなど多次元光センシングへの応用を推進する。