

小型・低消費電力・低雑音 THz トランシーバを実現する 光電子融合ヘテロジニアス集積技術の研究開発

Research and Development of Optoelectronic Heterogeneous Integration Technology for Realizing Compact, Low-Power, and Low-Noise THz Transceivers

研究代表者

北 智洋 早稲田大学理工学術院

Tomohiro Kita Faculty of Science and Engineering, Waseda University

研究分担者

佐藤 昭 東北大学電気通信研究所

Akira Satou Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

研究期間 令和 5 年度～令和 7 年度

概要

本研究では、シリコンフォトニクスと化合物半導体を融合した光電子融合ヘテロジニアス集積技術により、小型・低消費電力・低雑音なテラヘルツ (THz) トランシーバの実現を目指した。二波長可変レーザと光変調器を用いたフォトミキシングにより THz 変調波の生成を実証するとともに、UTC-PD および GG-HEMT を用いた高効率エミッタ・高感度レシーバの開発を行った。さらに、安定動作を目的としたインライン光モニタの開発に成功し、本技術の有効性を示した。

Abstract

In this study, we aimed to realize compact, low-power, and low-noise terahertz (THz) transceivers based on optoelectronic heterogeneous integration technology that combines silicon photonics and compound semiconductors. THz modulated wave generation was demonstrated using photomixing of a two-wavelength tunable laser and an optical modulator. In addition, high-efficiency emitters and high-sensitivity receivers based on UTC-PDs and GG-HEMTs were developed. Furthermore, an inline optical monitor for stable operation was successfully developed, demonstrating the effectiveness of the proposed technology.

1. まえがき

近年、情報通信量の爆発的な増大に伴い、Beyond 5G/6G に向けた超大容量無線通信技術の実現が強く求められている。特に、100 GHz を超えるテラヘルツ (THz) 帯は広大な未利用周波数帯域を有しており、次世代無線通信の基盤技術として注目されている。一方で、THz 帯における信号の生成および検出は、従来の電子デバイス単独では高周波動作や雑音特性の観点から限界があり、小型・低消費電力・低雑音なトランシーバの実現には新たなアプローチが必要とされている。このような背景のもと、本研究ではシリコンフォトニクスと化合物半導体デバイスを融合した光電子融合ヘテロジニアス集積技術により、THz 帯トランシーバの高性能化と小型化を同時に実現することを目的としている。光領域において生成された高安定な二波長光を用いて THz 波を生成し、さらに Uni-Traveling-Carrier Photodiode(UTC-PD)等の高周波デバイスと直接結合することで、従来の電氣的発振・増幅系を置き換える新しい THz システムの構築を目指す。

本研究で提案する THz トランシーバの概念図を図 1 に示す。図に示すように、シリコンフォトニクスにより実現された二波長可変レーザおよび光変調器と、UTC-PD および GG-HEMT から構成される高周波光電融合デバイスとをヘテロジニアスに集積することで、送信機および受信機を一体化した THz トランシーバを構成する。このような光電融合アーキテクチャにより、高周波信号の伝送損失を大幅に低減するとともに、消費電力および装置サイズの削減が可能となる。具体的には、送信側では二波長可変レーザから出力された光を用いてフォトミキシングにより THz 波を生成し、光変調器によって情報信号を付加する。一方、受信側では UTC-PD 集積 GG-HEMT を用いたヘテ

ロダイナ検出により、THz 信号を中間周波数信号へと変換する。このような光電融合デバイスの集積化によって二波長光のフォトミキシングによる THz 変調波生成が可能であり、低雑音かつ高安定な THz 信号の生成を本プロジェクトによって実証している。さらに、THz トランシーバの安定動作を実現するためには、光回路内の光強度を高精度に制御することが重要である。これに対し、本研究ではシリコンフォトニクス技術を用いた小型・低損失なインライン光モニタの開発を行った。図 2 に示すように、多モード干渉 (MMI) を利用した構造により、極めて小型かつ低損失で光強度を検出可能なデバイスを実現している。この光モニタは、将来的なフィードバック制御による THz ト

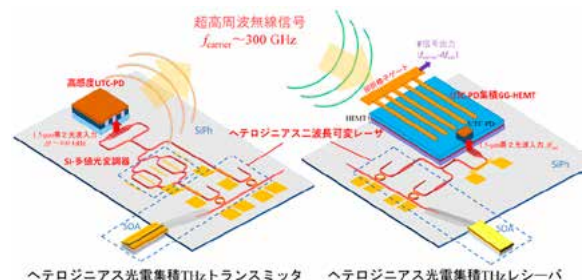


図 1 ヘテロジニアス集積技術を用いた THz 波トランシーバの概念図

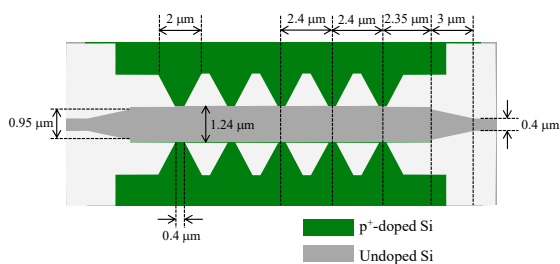


図2 低損失・小型シリコンインライン光モニタ

ランシーバの安定化において重要な役割を果たす。以上のように、本研究では光源、変調器、THz エミッタ・ディテクタ、および光モニタを統合した光電子融合システムの実現に向けた要素技術を体系的に開発した。本論文では、これらの研究内容および得られた成果について詳細に報告する。

2. 研究内容及び成果

2. 1 ヘテロジニアス二波長可変レーザ

本研究開発項目では、広帯域な周波数可変性と高いスペクトル純度を兼ね備えた光源として、シリコンフォトニクスと化合物半導体を融合したヘテロジニアス二波長可変レーザ (Two-Wavelength Tunable Laser: TWTL) を開発した。本レーザは外部共振器型構造を採用し、シリコンフォトニクス回路による高精度な波長選択機構と、量子井戸半導体光増幅器 (QW-SOA) を組み合わせることで、小型かつ高性能な二波長光源を実現している。本レーザの基本構成を図3に示す。本構造では、QW-SOAの端面（反射率約95%）と、シリコンフォトニクス回路上に形成された分布ブラッグ反射器 (DBR) との間でレーザ共振器が形成される。DBRは導波路幅を周期的に変調することで有効屈折率を変化させた構造であり、特定波長帯において高い反射率を示す。これにより、外部共振器の一端として機能し、レーザの発振波長を制限する役割を担う。波長選択機構としては、SOAに対して並列に接続された二系統の波長フィルタが用いられている。それぞれのフィルタはリング共振器を基本構造とし、独立に波長制御可能な構成となっている。この二つのフィルタによって選択された共振波長がそれぞれレーザ発振として現れることで、単一チップ上で二波長同時発振が実現される。リング共振器の構造および動作原理を図4に示す。リング共振器はレーストラック型構造を有しており、曲率半径5 μm、周長46.8 μmに設計されている。このとき自由スペクトル範囲 (FSR) は約11.7 nmとなり、広帯域な波長選択が可能となる。導波路とリング共振器の結合は方向性結合器により実現されており、結合効率はギャップおよび結合長によって制御される。本設計では結合係数 $\kappa \approx 0.1$ が得られており、適切な共振特性が実現されている。リング共振器の透過特性を図5に示す。理論値と実測値の比較により、共振特性が設計通りに実現されていることが確認されている。共振ピークにおけるQ値は数千程度であり、十分に狭い透過帯域を有することから、レーザ発振の波長選択において高い分解能を提供する。さらに、本レーザでは波長選択フィルタとSOAの間にMach-Zehnder干渉計 (MZI) を挿入している。この構造により、共振器内のフィードバック光強度と出力光の分配比を制御することが可能となる。MZIの動作原理は、2つのアーム間の位相差に依存した干渉効果に基づくものであり、ヒータによる熱光学効果を利用して位相差を制御する。反射率Rおよび透過率Tは位相差に

依存して周期的に変化し、共振器内の光強度分布を最適化することができる。このMZIの導入により、以下の2つの重要な効果が得られる。第一に、共振器内の光強度を適切に制御することで、安定な単一モード発振を維持できる点である。第二に、Siチップ側への出力光強度を増大させることで、後段の光回路への効率的な光供給が可能となる点である。ただし、透過率を過度に高くするとフィードバック光が減少し、波長選択性が低下するため、最適なバランス設計が必要となる。

本レーザの波長可変特性を図6に示す。リング共振器上に設置したマイクロヒータに印加する電力を変化させることで、一方の発振波長を1537.98 nmから1546.86 nmまで掃引可能であり、約8.88 nmの波長可変範囲が得られている。このとき、二波長間の最大差周波数は約1 THzに達しており、THz帯までカバー可能な広帯域性を有している。一方で、熱光学効果に起因するクロストークも観

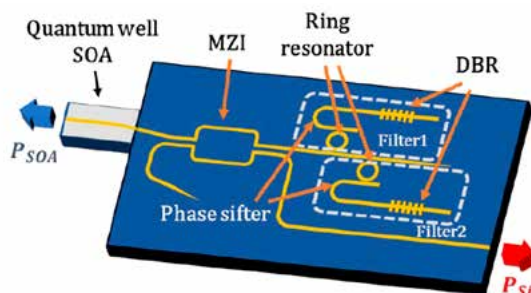


図3 二波長可変レーザの構造模式図

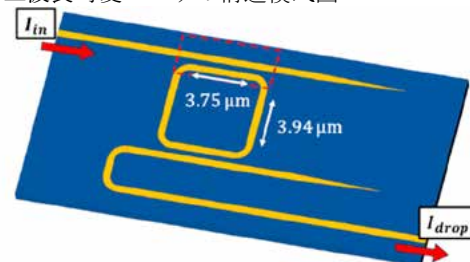


図4 シリコンリング共振器

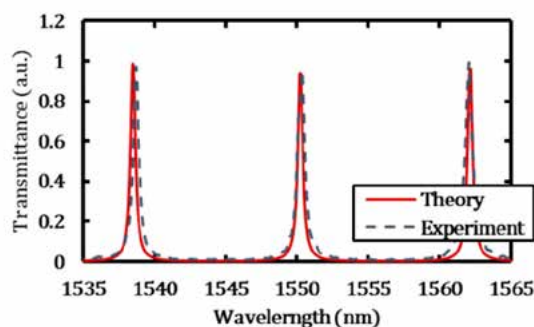


図5 リング共振器の透過スペクトル

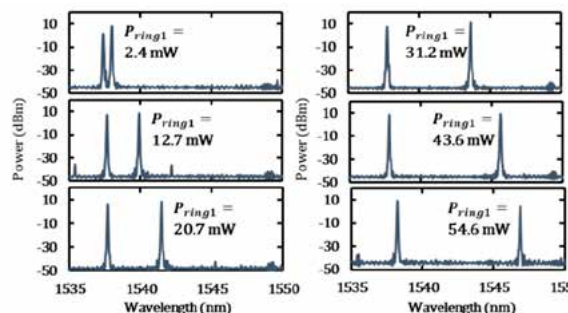


図6 二波長発振とヒータによる発振波長制御

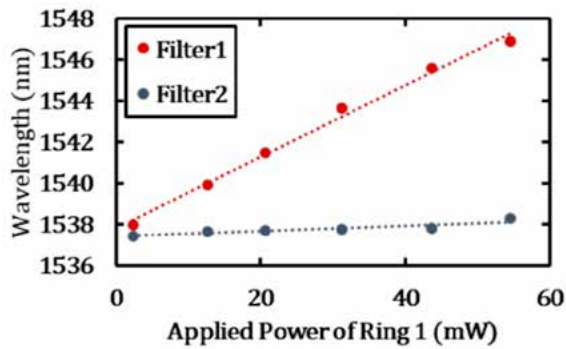


図7 ヒータ電力と発振波長の関係

測されている。図7に示すように、一方のリング共振器への加熱が他方の共振波長にも影響を与え、約10%程度の波長シフトが生じる。このクロストークは、リング間距離の最適化や熱絶縁構造の導入により低減可能であり、複数ヒータの協調制御により独立な波長制御が実現できる。さらに、DBRとリング共振器のスペクトル整合も重要な設計要素である。DBRの反射帯域はリング共振器のFSRと同程度に設計されており、これにより単一モード発振を維持しつつ広帯域な波長可変性が実現されている。また、QW-SOAを用いることで広い利得帯域と高い出力特性が得られる。量子井戸構造は高いキャリア密度を実現可能であり、高出力動作に適している。一方で、光強度の増加に伴う二光子吸収や屈折率変化により、発振の不安定化や多モード化が生じる可能性がある。したがって、MZIによるフィードバック制御と組み合わせることで、出力と安定性の両立が図られている。

以上のように、本研究で開発した二波長可変レーザは、QW-SOAによる高出力性、リング共振器による高選択性波長制御、MZIによる出力制御機構を統合した構造を有しており、広帯域かつ低雑音な二波長光源を実現している。このような特性は、後述するTHz波生成および変調技術の基盤として極めて重要である。

2. 2 シリコンフォトニクス光変調器の設計と特性

本研究開発項目では、二波長可変レーザから出力される光信号に対して高周波信号を付加するため、シリコンフォトニクス技術に基づく光変調器を開発した。本研究では、低消費電力動作を特徴とするリング共振器型変調器と、高効率かつ広帯域動作が可能なMach-Zehnder干渉計(MZI)型変調器の2種類のデバイスを、それぞれ独立に設計・試作した。シリコンフォトニクスにおける光変調は、キャリア注入またはキャリア蓄積に伴うプラズマ分散効果を利用して導波路の屈折率を変化させることで実現される。本研究でも、pn接合を形成したシリコン導波路に電圧を印加することでキャリア密度を制御し、光の位相および強度を変調する方式を採用している。この方式はCMOSプロセスとの親和性が高く、将来的な大規模集積化に適している。

まず、リング共振器型変調器について述べる。リング共振器は特定波長において鋭い共振特性を示し、その透過スペクトルは共振波長近傍で急峻な変化を有する。図8に示すように、本デバイスではシリコン導波路上に形成されたリング共振器にpn接合を導入し、電圧印加による屈折率変化を共振波長のシフトとして利用している。入力光の波長を共振曲線の傾斜部分に設定することで、微小な屈折率変化が大きな透過強度変化として現れ、高効率な強度変調が実現される。リング共振器型変調器の最大の利点は、低

電圧駆動による低消費電力動作にある。共振器の鋭いスペクトル特性により、わずかな電圧変化でも十分な変調深さを得ることができる。一方で、共振構造に起因するフォトン寿命の影響により、変調帯域は制限される。このため、リング共振器型変調器は低消費電力用途や比較的低速な変調に適している。本デバイスにおいて0.1 V_{pp}程度の小さな印加電圧によって光変調が可能であることを確認している。

次に、MZI型変調器について述べる。MZIは入力光を2つのアームに分岐し、それぞれの光路で生じる位相差を干渉によって強度変調へ変換する構造である。図9に示すように、それぞれのアーム内にpn接合を設け、逆バイアス電圧の印加によって空乏層幅を変化させることで位相変調を行い、その結果として出力光強度が変化する。この方式は共振構造を持たないため、波長依存性が小さく、広帯域かつ高速な変調が可能である。MZI型変調器は、リング共振器型と比較して高い線形性と広帯域特性を有する。特に、適切なバイアス条件(クアドラチャ点)に設定することで、入力電圧と出力光強度の関係をほぼ線形に保つことが可能であり、多値変調信号や高速通信への応用に適している。一方で、 π 位相シフトを得るためには比較的大きな電圧または長い導波路長が必要であり、消費電力やデバイスサイズの観点では不利となる。図10に単一波長光に対して光変調を行った際のアイパターンを示す。明瞭なアイ開口が確認でき高速変調が可能であることを示している。

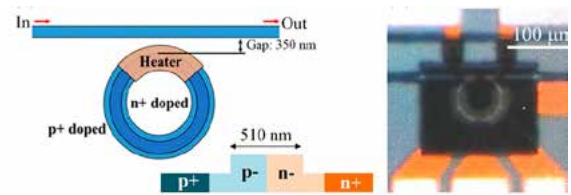


図8 シリコンリング共振器光変調器の構造

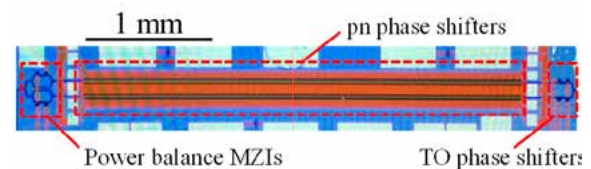


図9 シリコン MZI 光変調の構造

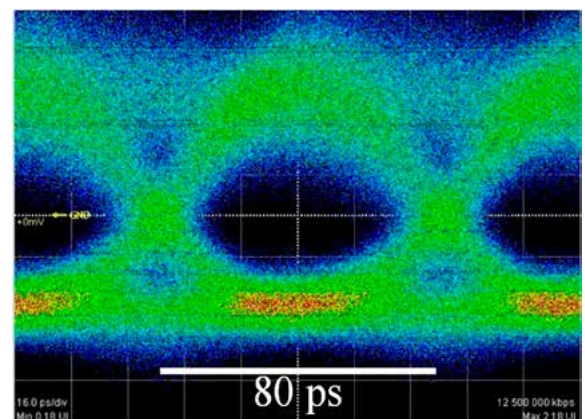


図10 シリコン MZI 光変調器の12.5 Gbit/s アイパターン

本研究では、これら 2 種類の変調器を用途に応じて使い分けることを想定している。すなわち、リング共振器型変調器は低消費電力動作を重視する用途に適しており、MZI 型変調器は高周波信号の高品質な変調が求められる用途に適している。このような役割分担により、システム全体としての性能最適化が可能となる。さらに、これらの変調器はシリコンフォトニクス基板上に形成されているため、二波長可変レーザとのモノリシックまたはハイブリッド集積が容易である。これにより、光源から変調器までの光結合損失を最小化し、小型かつ高効率な光送信系を構成することができる。

以上のように、本研究で開発したリング共振器型および MZI 型シリコンフォトニクス光変調器は、それぞれ異なる特性を有し、低消費電力動作と高効率・広帯域動作という相補的な性能を提供する。これらのデバイスは、後述する THz 変調波生成において重要な役割を果たす。

2. 3 高効率 THz エミッタおよび高感度検出デバイス

本研究開発項目では、THz トランシーバの受信器および送信器に対応する高周波デバイスとして、UTC-PD 集積 Grating-Gate High Electron Mobility Transistor (GG-HEMT) および UTC-PD を用いたエミッタの開発を行った。

まず、受信機側のデバイスとして、UTC-PD 集積 GG-HEMT を用いたヘテロダイン検出の原理検証を行った。図 1 1 に示すように、試作したデバイスはダイポールアンテナ構造を有しており、THz 波の入射による局所電界増強を利用した検出が可能である。また、同図に示す測定系において、300 GHz 帯の THz 信号と 1.5 μm 帯二波長光を同時に入力することでヘテロダイン検出を行った。その結果、差周波に対応する中間周波数信号が観測され、図 1 2 に示すように UTC-PD 集積 GG-HEMT によるヘテロダイン検出動作が確認された。

さらに、性能向上に向けた検討として、UTC-PD の構造設計および GG-HEMT の電極構造の最適化を行った。解

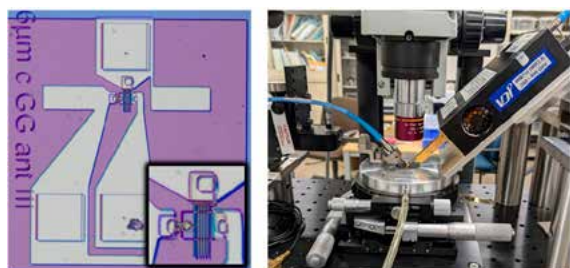


図 1 1 作製した UTC-PD 集積 GG-HEMT と測定系

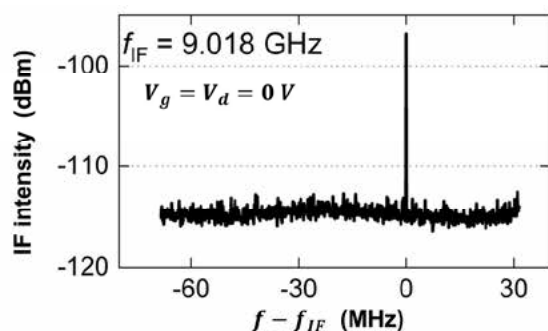


図 1 2 UTC-PD 集積 GG-HEMT による中間周波数信号の検出

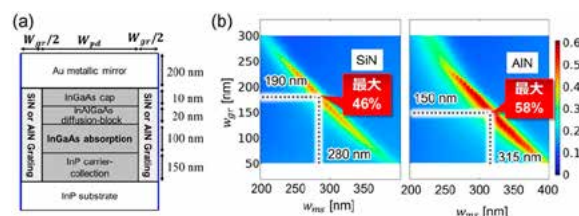


図 1 3 (a)絶縁体一次元構造を装荷した UTC-PD の模式図 (b)光吸収効率のシミュレーション結果

析の結果、従来構造では光吸収層厚やキャリア走行層厚に起因してカットオフ周波数が制限されることが明らかとなり、300 GHz 帯動作に向けた構造最適化の指針を得た。また、GG-HEMT のアクティブ領域における電位分布の解析から、従来構造では面積拡大に伴う感度向上が制限されることが示され、新たに格子カソード電極構造を導入することで改善が可能であることが示された。

次に、送信機側のデバイスとして、UTC-PD を用いた THz エミッタの高効率化を検討した。図 1 3 に示すように、絶縁体一次元格子を導入した UTC-PD 構造により、光吸収率の向上および高周波特性の改善が期待される。電磁界シミュレーションの結果、格子材料を SiN から AlN に変更することで光吸収率が 46%から 58%に向上することが確認された。さらに、格子構造の導入によりデバイス面積の縮小と RC 時定数の低減が可能となり、カットオフ周波数の向上が見込まれることが示された。また、SiN や AlN といった高熱伝導材料を導入することで、デバイスの熱特性が改善されることも確認されており、従来課題であった高出力動作時の熱破壊の抑制が期待される。

以上のように、本研究では UTC-PD 集積 GG-HEMT による THz ヘテロダイン検出の原理実証と、UTC-PD の光電変換効率向上に向けた構造検討を行い、THz トランシーバの実現に向けた重要な要素技術を確立した。

2. 4 インライン光モニタの開発と光回路内モニタリングの実証

本研究開発項目では、シリコンフォトニクス集積回路における光強度の高精度制御を目的として、低損失かつ小型なインライン光モニタの開発を行った。従来の Ge フォト

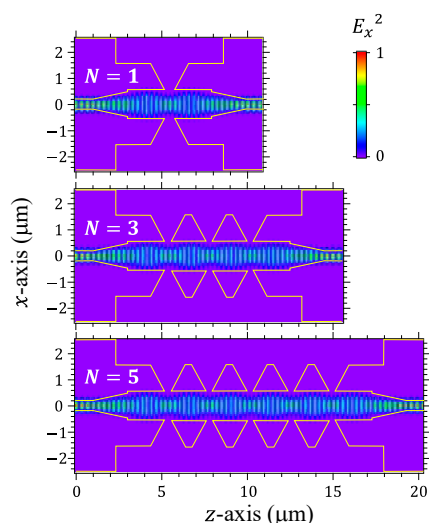


図 1 4 電極数 N を変化したインライン光モニタの電界分布

ダイオードや二光子吸収型検出器では、光の分岐や長い検出器長が必要であり、回路規模の拡大に伴う損失増大や消費電力増加が課題となっていた。これに対して本研究では、マルチモード干渉 (MMI) 導波路における自己集束現象を利用した新規な光検出構造を提案した。MMI 導波路内では、

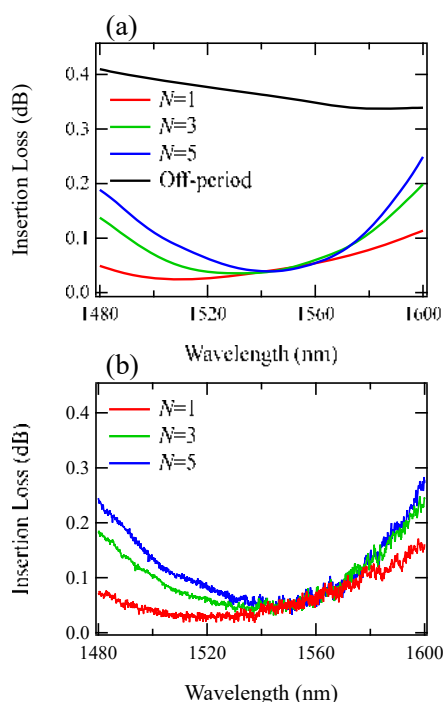


図 1 5 (a)挿入損失のシミュレーション (b)試作した光モニタの挿入損失の測定結果

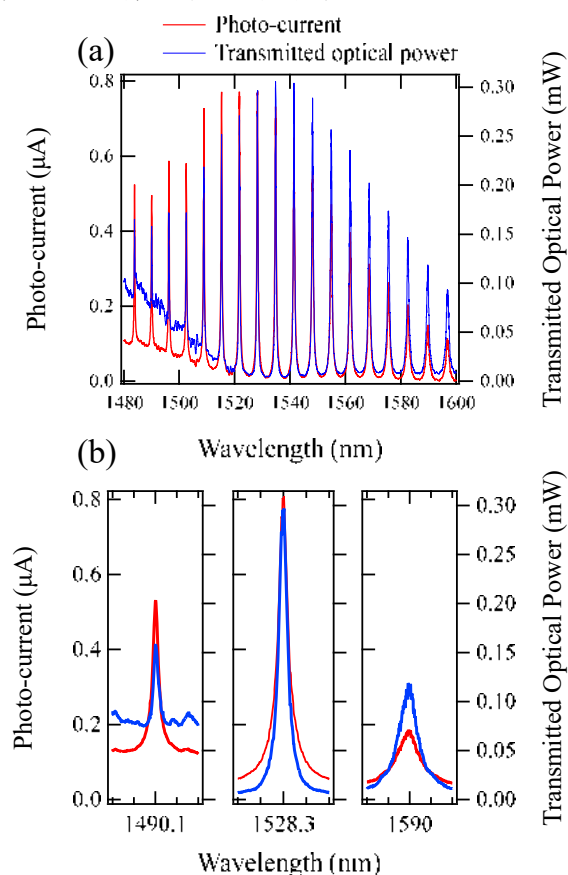


図 1 6 (a)光モニタを装荷したリング共振器の透過光スペクトルと光電流スペクトル (b)共振波長の拡大図

複数モードの干渉により光電界が周期的に導波路中心へと集中する。この性質を利用し、電界が局在する位置に重ドープ電極を配置することで、光と電極との重なりを最小化しつつ、光吸収を利用した検出を実現する。図 1 4 に示すように、この構造により低損失と高感度の両立が可能となった。

設計においては、モード解析および FDTD シミュレーションにより電界分布を詳細に評価し、電極配置位置および周期構造を最適化した。図 1 5 に電極数 N を 1, 3, 5 として作製した MMI 構造の損失のシミュレーション結果及び測定結果を示す。電極数 $N=1$ の最小構造においては、デバイス長 $4.7 \mu m$ という極めて小型な構造でありながら、挿入損失 0.1 dB 以下、100 nm 以上の広帯域動作を実現した。本デバイスは、フォトコンダクティブ動作に基づくキャリア増幅効果により、約 340 倍のゲインを有し、75 mV/mW の高い検出感度を達成した。さらに、本光モニタをシリコンリング共振器へ集積し、光回路内モニタリングの実証を行った。図 1 6 に示すように、透過スペクトルと光電流スペクトルが良好に一致しており、共振状態を直接電氣的に読み出せることが確認された。この結果は、光回路内における非破壊かつリアルタイムな光強度モニタリングが可能であることを示している。

以上より、本研究で開発したインライン光モニタは、大規模シリコンフォトニクス回路における光パワー制御、波長安定化、およびフィードバック制御に有効な要素技術である。

2. 5 二波長可変レーザとシリコンフォトニクス変調器を用いた THz 変調波の発生

本研究開発項目では、ヘテロジニアス集積された二波長可変レーザとシリコンフォトニクス変調器、ならびに UTC-PD を組み合わせることで、THz 帯における高速変調波の発生を実証した。

THz 波の生成には、二波長光の周波数差を利用した光ヘテロダイン法を用いる。この手法では、二波長光を UTC-PD に入力することで、光強度ビートに対応した周波数成分が電気信号として抽出され、差周波に対応する THz 波が生成される。さらに、光領域での強度変調を組み合わせることで、THz 帯における変調信号の生成が可能となる。図 1 7 に示すように、二波長可変レーザから発生した差周波数約 300 GHz の二波長光に対して、光領域で強度変調を施し UTC-PD によって THz 波へと変換する構成を採用している。本研究で用いた二波長可変レーザは、Si フォトニクス外部共振器と量子井戸 SOA を組み合わせた構造を有し、外部外部共振器レーザ特有の狭線幅と広帯域な周波数可変性を両立している。この高いコヒーレンス特性により、THz 波においても低雑音かつ高安定な信号生成が可能となる。実験では、約 278-302 GHz の周波数差を持つ二波長光を生成し、シリコン MZI 変調器および LN 変調器を用いて 12.5 Gbit/s の OOK 変調を行った。その結果、UTC-PD により生成された THz 変調波において、図 18 に示されるように明瞭なアイパターンが観測され、BER は LN 変調器を用いた場合は 1.12×10^{-10} 、シリコン変調器を用いた場合は 3.68×10^{-4} を達成した。特に、シリコン変調器を用いた場合においても HD-FEC 限界以下の BER が得られたことは、シリコンフォトニクス技術を用いた THz 送信器の有効性を示す重要な結果である。一方で、性能劣化の主因が光ファイバ増幅器による ASE 雑音であることが明らかとなっており、光源・変調器の一体集積によりさらなる高性能化が期待される。

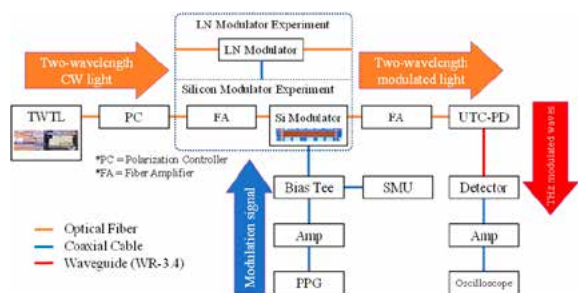


図 1-7 ヘテロジニアスデバイスを用いた THz 変調波の生成システム

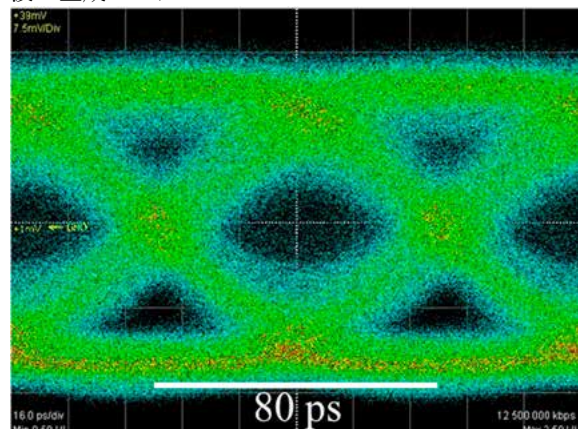


図 1-8 シリコン MZI 光変調器を用いて生成した 12.5 Gbps の THz 変調波

さらに LN 変調器を用いて疑似的な PAM4 信号を発生したアイパターンを評価した結果を図 1-9 に示す。本測定では、3 段階の強度変調を組み合わせることで疑似的な PAM4 信号を再現している。PAM4 変調においても明瞭なアイ開口が確認でき、本手法の多値変調への適用可能性が示された。

以上の結果から、本研究で提案する光電子融合システムにより、THz 帯における高品質な高速変調信号の生成が可能であることが実証された。

3. 今後の研究成果の展開

本研究により、二波長可変レーザ、シリコンフォトニクス光変調器、UTC-PD および GG-HEMT、高効率インライン光モニタといった各要素技術の開発および基本動作の実証が達成された。これらの成果は、光電子融合ヘテロジニアス集積による THz トランシーバ実現に向けた基盤技術として位置づけられる。今後は、これらの要素技術を一体化したトランシーバシステムの実現に向けた研究を進める。特に、二波長可変レーザとシリコンフォトニクス光変調器の集積化により、光源から変調器までの光結合損失を低減し、小型かつ高効率な光送信部の構築が可能となる。また、UTC-PD および GG-HEMT との集積により、光信号から THz 信号への変換および検出を一体化したコンパクトな THz トランシーバの実現が期待される。さらに、インライン光モニタを活用したフィードバック制御技術の導入により、光源および光回路の動作点を安定に維持することが可能となる。これにより、長時間安定動作や温度変動に対するロバスト性の向上が期待されるとともに、THz 信号の低雑音化および高信頼性に寄与する。

通信応用の観点からは、PAM4 などの多値変調方式の導入や、さらなる高速化に向けた検討が重要である。シリコンフォトニクス変調器の高速化および低消費電力化を進

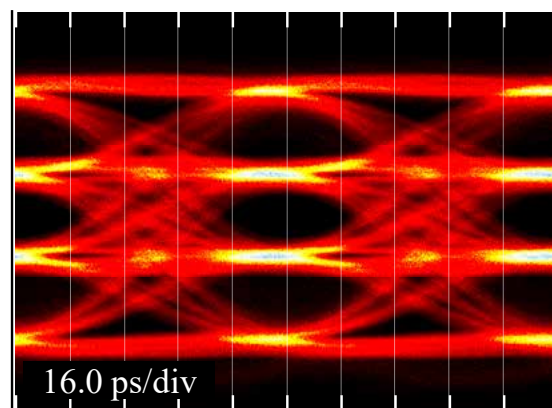


図 1-9 LN 光変調器を用いて生成した 25 Gbit/s の PAM4 THz 変調波

めることで、THz 帯における大容量通信の実現が可能となる。また、ヘテロダイン検出技術と組み合わせることで、将来的にはコヒーレント THz 通信への展開も期待される。加えて、本研究で確立した光電子融合技術は、通信分野にとどまらず、THz センシングやイメージングなどの応用分野への展開も可能である。特に、広帯域かつ周波数可変な THz 波を利用することで、高分解能な分光計測や非破壊検査への応用が期待される。

以上のように、本研究で得られた成果は、THz トランシーバの実用化に向けた重要なステップであり、今後の集積化および高機能化により、次世代無線通信およびセンシング技術への応用が期待される。

4. むすび

本研究では、シリコンフォトニクスと化合物半導体を融合した光電子融合ヘテロジニアス集積技術により、小型・低消費電力・低雑音なテラヘルツ (THz) トランシーバの実現に向けた基盤技術の確立を目指した。二波長可変レーザ、シリコンフォトニクス光変調器、UTC-PD および GG-HEMT、高効率インライン光モニタといった要素技術の開発と動作実証を行い、THz 変調波の生成および評価を通じて本技術の有効性を示した。

本研究で得られた成果は、光源・変調・検出・モニタリングを含む光電子融合システムとして THz トランシーバを構成するための重要なステップであり、今後の集積化および高機能化により、次世代無線通信およびセンシング分野への展開が期待される。

【査読付き誌上発表論文】

- [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 accepted (2026 年 4 月)
- [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 Early access (2026 年 3 月 4 日)
- [3] Yuga Tomimura, Akira Satou, and Tomohiro Kita, "Generation of Millimeter Waves and Sub-Terahertz

Waves Using a Two-Wavelength Tunable Laser for a Terahertz Wave Transceiver”, Photonics Vol.11 No.9 pp1-15 (2024 年 8 月 23 日)

【査読付き口頭発表論文】

- [1]Kiyoharu Tsujishita , Soma Kawano, and Tomohiro Kita, “Generation of modulated THz waves using a two-wavelength tunable silicon photonics heterogeneous laser diode”, Microoptics Conference (MOC 2025) (2025 年 10 月 15 日)
- [2]Tomohiro Kita, Raimu Sato, Takeru Tsunoda, Ayaka Nomura, Leo Mori and Kissho Iwanaga, “Silicon Photonics Hybrid Tunable Laser Diode with Wavelength Tuning Range Exceeding 150 nm”, International Semiconductor Laser Conference (ISLC 2024) (2024 年 9 月 30 日)
- [3]Yuga Tomimura, Dohyeong Lee, Akira Satou, Taiichi Otsuji and Tomohiro Kita, “THz transmitter using silicon photonics based two-wavelength tunable laser diode and ring modulator”, Microoptics Conference (MOC 2024) (2024 年 10 月 1 日)

【口頭発表】

- [1] Akira Satou and Taiichi Otsuji, “【招待講演】 Recent Advances on Grating-Gate InGaAs-Channel HEMT THz Plasmonic Detectors,” 電子情報通信学会 2026 年総合大会 (2026 年 3 月 10 日)
- [2]Tomohiro Kita, “【招待講演】 THz Modulated Wave Generation Using a Heterogeneous Two-Wavelength Tunable Laser Diode”, Terahertz-Related Devices and Technologies (Tera Tech2025) (2025 年 6 月 5 日)
- [3] Akira Satou and Taiichi Otsuji, “【招待講演】 UTC-PD-Integrated HEMT Photonic Double-Mixer for Beyond-5G Fiber-Wireless-Convergence Network Systems,” 2nd International Workshop on Global Research Initiative for Wireless Technology (2nd IGROW) (2025 年 4 月 24 日)

【申請特許リスト】

- [1]北 智洋、光検出器、日本、2024 年 8 月 29 日

【登録特許リスト】

- [1] 北 智洋、レーザビームスキャナ、日本、2022 年 7 月 20 日、2024 年 7 月 30 日、特許第 7530099 号
- [2]北 智洋、メンデス マヌエル、光スイッチ、日本、2020 年 9 月 23、2024 年 5 月 20、特許第 7491565 号

【受賞リスト】

- [1]Kiyoharu Tsujishita 、 MOC2025 Student Paper Award, “Generation of Modulated THz Waves Using a Two-Wavelength Tunable Silicon Photonics Heterogeneous Laser Diode”, 2025 年 10 月 15 日
- [2] 佐藤昭、令和5年度一般財団法人石田實記念財団研究奨励賞特別賞（石田實賞）、“半導体二次元プラズモンを活用した光無線融合型新原理超ブロードバンド信号処理デバイスの研究実用化”、2023年10月27日

【報道発表リスト】

- [1] “光電流を従来の 340 倍に増幅する超小型光回路モジュールを開発”、日本経済新聞 web 版, Optronics Online, 共同通信PRワイヤー等、2026 年 3 月 19 日