

1. 研究開発プロジェクト・実施機関・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名 : Beyond 5G超高速・超大容量無線通信システムのためのヘテロジニアス光電子融合技術の研究開発
- ◆実施機関 : 国立大学法人東北大学、パナソニックホールディングス株式会社(～2022年度)、浜松ホトニクス株式会社、住友大阪セメント株式会社、学校法人早稲田大学
- ◆研究開発期間 : 2021年度～2024年度(4年間)
- ◆研究開発予算 : 総額840百万円(2023年度240百万円)

2. 研究開発の目標

光-THz無線間のキャリア・データ相互変換機能を実現する低遅延・超低消費電力デバイス技術を開発し、2022年度までには120 GHz帯無線周波数にて40 Gbaud級データ信号の相互変換のフィージビリティ、2024年度までには300～500 GHz帯にて100 Gbaud級データ信号の相互変換のフィージビリティの実証をそれぞれ目標とする。

3. 研究開発の成果

研究開発項目1: 光ファイバB5G無線通信変換用ダブルミキシングデバイス・システムの研究開発

化合物/グラフェンダウンコンバータ

目標性能値 :

搬送周波数 : 240~500 GHz
 ボーレート : ~100 Gbaud
 変換利得 : ~ -30 dB
 消費電力 : < 20~30 mW

InP系HEMT/グラフェンFETをベースとするダウンコンバータのデバイス・システム開発

ダウンコンバータ実現に向けた課題

- 1-a) デバイス性能の向上
- 1-b) モジュール・パッケージング技術の確立
- 1-c) 量産化技術の確立

研究開発目標

研究開発成果

研究開発項目1-a) デバイス・プロセス基盤技術

デバイスの変換利得と動作周波数の向上が課題。

- InP系UTC-PD上部集積HEMTダブルミキサに関して、300 GHz帯無線信号の50 GHz中間周波数帯への周波数下方変換の実証に成功。300 GHz帯における変換利得向上に関する課題を抽出。
- グラフェンFETダブルミキサに関して、プロセス技術改良と新動作原理導入による変換利得の向上に成功。1 THz帯周波数下方変換に成功。

研究開発項目1-b) デバイス・システム化技術

- 単ゲート型ダブルミキサに対して、導波管出力口からコプレーナ導波路を介して300 GHz帯LO信号をゲート電極に入力する方式の検討と、モジュール試作設計に着手。
- アンテナ集積型ダブルミキサ/二重回折格子ゲート型ダブルミキサに対して、導波管出力口をデバイスチップ直上に配置し、300 GHz帯LO信号を直接デバイスに照射する方式の検討・モジュールパッケージ試作の完了。モジュール評価用の測定系の構築に着手。

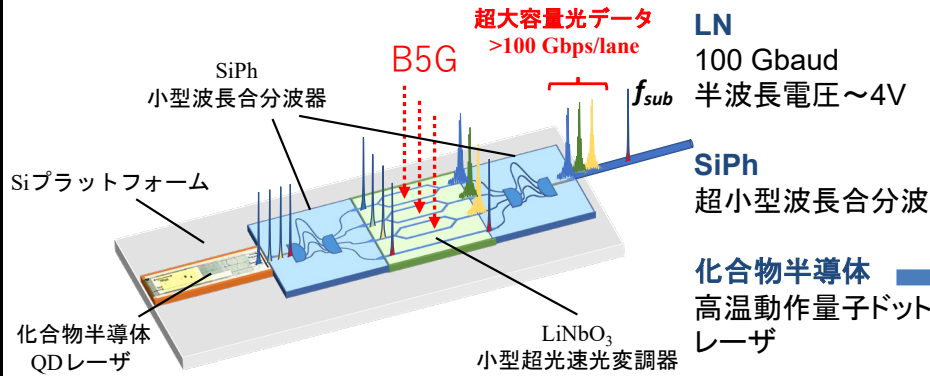
研究開発項目1-c) デバイス・プロセス量産化技術

InP系UTC-PD上部集積HEMTダブルミキサの量産技術確立に向けて、ウェハレベルプロセスの具現化とロードマップの設定が不可欠。

- 150nmノード/3インチウェハプロセスを実施し、抜き取りでのDC特性計測でトランジスタスイッチング動作を確認。デバイスロット間の安定化に向けたプロセス技術の課題を抽出。
- 内製エピタキシャルウエハの結晶性品質の改善の見通しが立った。
- 量産試作用の交流特性評価について、計測の時間短縮にむけて評価系を改良。

1

ヘテロジニアス集積技術を用いた超大容量光トランスミッタ



異種材料の長所を効果的に融合

研究開発項目2-a) B5G用超高速低電圧駆動光変調器の研究開発

- 薄膜LN光変調素子の構造最適化により、光帯域70 GHz（伝送速度100 Gbaud 相当）以上を予定通り達成。
- 100Gbaud級の市販広帯域ドライバンプの出力にマッチングするよう、低駆動電圧化を検討し、駆動電圧 2.5Vを達成（最終目標：4 V）。
- 最終年度に向け、ヘテロジニアス光デバイスのパッケージ設計着手。

研究開発項目2-b) B5G用ヘテロジニアス光集積回路基盤技術の研究開発

- 令和5年度に開発した低損失スポットサイズコンバータによってSiPhチップ/化合物半導体チップ間の接続損失約0.9 dBが得られた。
- 異種材料基板間3種類の接合損失を2 dB/facet以下で実現するとの研究開発目標を前倒して達成した。
- 低損失スポットサイズコンバータとシリコン導波路の非線形光学効果を抑制するフィルタ構造の開発によってヘテロジニアス波長可変レーザのチップ出力80 mW以上の高出力化が実現された。
- 装置化技術の改良：ヘテロジニアス接合装置を改良し、接合の位置ずれ精度が0.2 μm以下の高精度化を実現した。

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
11 (3)	21 (18)	13 (6)	133 (56)	0 (0)	2 (1)	1 (1)	15 (6)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

1. 受賞・表彰

- (1) 第59回(2021年度)電子情報通信学会業績賞(授与日2022年6月9日):尾辻泰一,「二次元プラズモンの共鳴現象を用いたテラヘルツ光源・検出素子の先駆的研究」。
- (2) IRMMW-THz 2022・Swiss Terahertz Prize(授与日2022年9月2日):D. Nakajima *et al.*, "UTC-PD-Integrated HEMT For Optical-to-MMW/THz Carrier Frequency Down-Conversion: Scaling Rule Of Conversion Gain On UTC-PD Mesa Size."
- (3) 電子情報通信学会2022年総合大会・エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞(授与日2022年9月6日):中嶋大他,“光サブキャリア信号高強度化によるUTC-PD集積HEMTの光ダブルミキシング変換利得向上,”電子情報通信学会2022年総合大会, オンライン, 2022年3月17日。
- (4) 2021年度OPE研究会学生優秀研究賞(授与日2022年2月25日):川名理緒,北智洋,“シリコンフォトリクスハイブリッドレーザの位相変調を用いたFMCW計測,”2021年度OPE研究会, オンライン, 2022年2月25日。

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス（続き）

- (5) MOC2022 Student Paper award (授与日2023年9月28日): Y. Misugi, H. Okayama, and T. Kita, "Wavelength Sweep 2D Laser Beam Scanner"
- (6) RPGR 2022・Best Student Paper Award (授与日2022年11月24日): K. Tamura *et al.*, "Unipolar photothermoelectric THz detection assisted by Coulomb drift/diffusion of Dirac fermions in asymmetric dual-grating-gate graphene FETs."
- (7) 2022年度東北大学工学研究科長賞 (授与日2023年3月23日): 田村紘一, "グラフェンチャネルFETのゲートスタックプロセス高度化とその高速・高感度テラヘルツ波検出への応用に関する研究."
- (8) 2022年度東北大学工学研究科優秀学生賞 (授与日2023年3月24日): 中嶋大, "InP系光電子融合ダブルミキサトランジスタの高変換利得化に関する研究."
- (9) 2022年度早稲田大学物理及応用物理学専攻(実験系)修士論文賞(宮部賞)(授与日2023年3月26日): 小島大輝, "曲げ構造式集積型偏光子の装荷による Si 光変調器の超高消光比化."
- (10) TeraTech 2023・Best Student Paper Award (授与日2023年9月7日): M. Watanabe *et al.*, "Optical-to-MMW/THz Carrier Frequency Down-Conversion by UTC-PD-Integrated HEMT: Optimization of UTC-PD Mesa Shape and Size," TeraTech 2023, Aizu-Wakamatsu, 2023年9月5日.
- (11) MOC2023 Paper award (授与日2023年9月27日): Y. Misugi and T. Kita, "Silicon Based High Resolution Passive Optical Phased Array Consisting of Multi-Mode Waveguides."
- (12) MOC2023 Student Paper award (授与日2023年9月27日): T. Yabuki and T. Kita, "Narrow Spectral Linewidth Wavelength Tunable Laser Diode using Self-injection Locking."
- (13) 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) (授与日2023年10月27日): 佐藤昭, 「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」.
- (14) PDW2023 Best student poster award (授与日2023年12月7日): T. Ueda and T. Kita, "High Output Power Silicon Photonics Hybrid Wavelength Tunable Laser Diode"
- (15) 2023年度早稲田大学物理及応用物理学専攻(実験系)修士論文賞(宮部賞)(授与日2024年3月26日): 三杉大和, "曲げ構造式集積型偏光子の装荷によるSi光変調器の超高消光比化."

5. 今後の研究開発計画

研究開発項目1: 光ファイバB5G無線通信変換用ダブルミキシングデバイス・システムの研究開発

- InP系UTC-PD上部集積HEMTダブルミキサに関して、300 GHz帯周波数下方変換利得の向上と、100 Gbaud級NRZ ASK変調光データ信号の300 GHz帯周波数下方変換の実証実験によるデバイスフィージビリティの検証。
- グラフェンFETダブルミキサに関して、500 GHz～1 THz帯周波数下方変換利得の向上と、デバイスフィージビリティの検証。
- 光ファイバB5G無線通信変換技術およびB5G無線-光ファイバ通信変換技術の統合実証実験。
- UTC-PD上部集積HEMTダブルミキサと300 GHz帯局発振信号との結合方式に関して、試作モジュール実装・評価による、結合損失3 dB以下の実現可能性の検証。
- 150 nmノードプロセスの改善によるデバイス特性の安定化、および歩留まり規格の設定。エピタキシャルウエハまで含めたデバイスの完全国産化の検討。

研究開発項目2: B5G無線-光ファイバ通信変換用光データ生成デバイス・システムの研究開発

- 伝送速度100 Gbaud、駆動電圧2V級のLN光変調器と高出力ヘテロジニアス波長可変レーザを組み合わせた100 Gbaud級ヘテロジニアストランスミッタの試作と動作検証。
- LN光変調器の85°C動作安定性や120°C高温保持試験などの耐環境性評価の実施。
- ヘテロジニアス接合構造の低結合損失化及びヘテロジニアストランスミッタの多レーン化に向けたデバイス試作、評価。