

1. 研究課題・受託者・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
- ◆受託者: 国立大学法人東北大学、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: 令和3年度～令和6年度(4年間)
- ◆研究開発予算(契約額): 令和3年度から令和6年度までの総額1,080百万円(令和6年度240百万円)

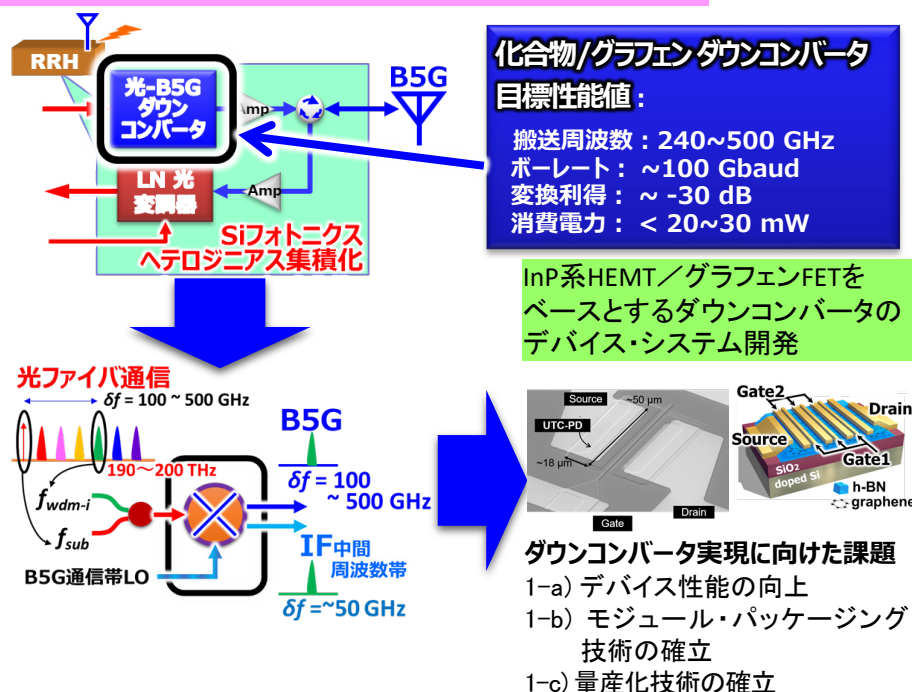
2. 研究開発の目標

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

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。

- UTC-PD集積HEMTダブルミキサ: 120 GHz帯/300 GHz帯無線信号の中間周波数帯への変換で変換利得-30 dB以上達成の見込み。消費電力10 mWを達成。
- グラフェンFETダブルミキサ: 目標を大きく上回る1 THz帯無線信号の中間周波数帯への変換動作実証に成功。
- 両ダブルミキサに関して、THz検波特性評価で100 Gbaud級の速度性能を有することを実証。テストベッドを用いたUTC-PD集積HEMTダブルミキサの速度性能評価で、フォトミキシングを行うUTC-PDの速度性能劣化要因を明らかにし、デバイス再設計によって100 Gbaud級データ信号の周波数下方変換が可能になる見通しを得た。これらを総合し、100 Gbaud級周波数帯下方変換のフィジビリティを実証。

研究開発項目1-b) デバイス・システム化技術

デバイスと入力信号との高結合効率を実現し、かつデバイス量産化を想定した光無線融合モジュール・パッケージング技術の構築が不可欠。

- InP系UTC-PD上部集積HEMTダブルミキサ・モジュール試作を行い、光信号ーデバイス結合損失2.15 dBを達成(最終目標: 3 dB以下)。
- LO信号結合損失は、シミュレーションによって220～325 GHzの広帯域で2 dB以下にできることを示した(最終目標: 3 dB以下)。
- 光結合損失3 dB以下、LO信号結合損失3 dB以下を実現するモジュール・パッケージングの設計を完了。

研究開発項目1-c) デバイス・プロセス量産化技術

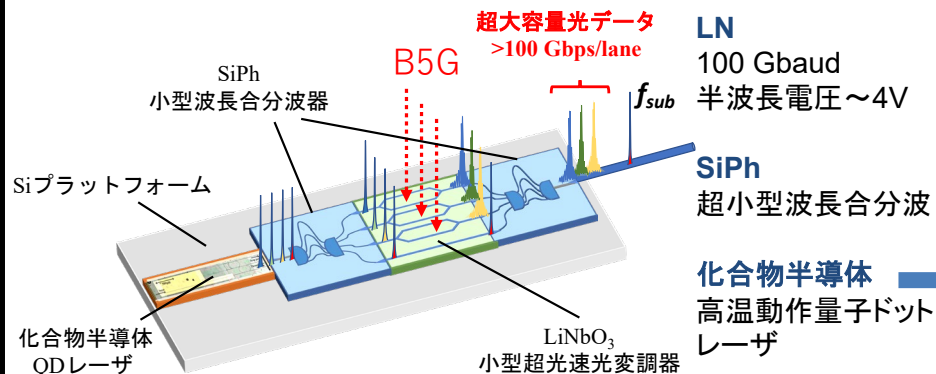
InP系UTC-PD上部集積HEMTダブルミキサの量産技術確立に向けて、ウェハレベルプロセスの具現化とロードマップの設定が不可欠。

- 150nmノード/3インチウェハプロセスにおいて、80%以上の歩留まりを実現。
- 特性向上に向けたゲート幅の微細化(70nmノード)、リーク電流の低減を実施。
- 完全国産化に向けた内製エピウェハデバイスでHEMTスイッチング動作を確認。

研究開発項目2B5G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

研究開発目標

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

研究開発成果

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

- 気密封止薄膜LN光変調器で、目標超えの115 Gbaudを達成(最終目標:100 Gbaud)。
- 駆動電圧 1.9Vを達成(最終目標:4 V)。
- 85 °C動態動作、120 °C高温放置にて安定動作を確認(1000時間)。
- エネルギー効率1.9 pJ/bitとなる4レーンヘテロジニアス光トランスミッタを設計。
(構成:130 Gbaud 16QAM変調×4 レーン、1W/レーンドライバ集積)

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

- 量子ドットDFBLレーザについて、簡易な作製方法を提案及び作製し、100°Cの高温環境下においてシングルモード発振する事に成功。またFPレーザで120°C CW発振達成。
- 化合物SOA/SiPh-ヘテロジニアス波長可変レーザとLN小型変調器を結合した4種の材料を結合したヘテロジニアストランスミッタの作製に成功。
- ヘテロジニアストランスミッタの85 GHz以上の光帯域を実証。
- トランスミッタの多レーン化に向けて波長合分波器を作製、特性評価を完了。
- ヘテロジニアスチップの高スループット受動接合装置を作製。

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
12 (1)	36 (12)	15 (2)	188 (55)	0 (0)	2 (0)	1 (0)	17 (2)

※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) 受賞・表彰7件:

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、受賞者:尾辻泰一)
2022年度東北大学工学研究科長賞(授与日2023年3月23日、受賞者:田村紘一)
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、受賞者:小島大輝)
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、受賞者:佐藤昭)
唐超助教が東北大学プロミネントリサーチフェローの称号付与を受けました(東北大学HPプレスリリース)(2023年7月3日)
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、受賞者:三杉大和)
2025年度東北大学電気・情報系(通信工学)優秀学生賞(授与日2025年3月25日、受賞者:田村紘一)

(2) 論文の表紙への掲載、選出2件:

参考: 学術論文誌表紙への掲載 (DOI: 10.1002/pssa.202270001、V. Ryzhii, *et al.*)
APL Photonics誌にFeatured Articleとして選出 (DOI: 10.1063/5.0122305、K. Tamura *et al.*)

(3) 国際会議における受賞7件:

IRMMW-THz 2022・Swiss Terahertz Prize(授与日2022年9月2日、受賞者:D. Nakajima)
MOC2022 Student Paper award(授与日2022年9月28日、受賞者:Y. Misugi)
RPGR 2022・Best Student Paper Award(授与日2022年11月24日、受賞者: K. Tamura)
TeraTech 2023・Best Student Paper Award(授与日2023年9月7日、受賞者: M. Watanabe)
MOC2023 Student Paper award(授与日2023年9月27日、受賞者: T. Yabuki)
PDW2023 Best student poster award(授与日2023年12月7日、受賞者: T. Ueda)
TeraTech 2024・Best Student Paper Award (授与日2024年6月14日、受賞者: S Horiuchi)

(5) 国際会議における基調講演格上げ(Keynote upgrade)に選出2件:

IRMMW-THz 2023・T.-T. Lin *et al.*, IRMMW-THz 2024・C. Tang *et al.*,

(6) 国内会議・研究会における受賞2件:

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)
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)

(7) 応用物理学会 第51回 薄膜・表面物理 基礎講座(2022、吹留 博一)

(8) 東北大学HP、理化学研究所HPおよび日本経済新聞にプレスリリースが掲載されました(2023年11月24日)

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

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

- 300GHz帯変換利得－30 dB達成に向けたデバイス試作と、テストベッドを用いた、データレート100 Gbit/s級周波数下方変換の実証を行う。
- UTC-PD集積HEMTダブルミキサに関して、300 GHz帯での性能向上を図る。
- グラフェンFETダブルミキサに関して、1 THz帯での性能向上を図る。
- 高効率モジュール・パッケージング技術を用い、上記の性能を有するデバイスをモジュール実装し、フィージビリティ・スタディを進める。
- 無線－光変換側とのヘテロジニアス集積を進め、光－無線相互変換モジュールの実現を目指す。
- 学術論文誌論文や国際会議での研究成果発表、主要技術の特許出願を積極的に行う。
- 標準化提案に向けた活動を促進し、デジュール標準化団体IECにおいて光ダブルミキシング技術の国際標準化提案を完了する。
- 2030年6G商用化までに300GHz帯ダブルミキシング・モジュールの製品化を目指す。
- InP系UTC-PD上部集積HEMTダブルミキサチップを搭載するシステムの技術動向を注視し、搭載に求められる素子の要求仕様を探る。
- UTC-PD、HEMTの性能改善を検討しながら、光ファイバ／無線通信変換技術の動向・ニーズとの整合を図る。

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

- B5G LN光変調器関連製品としては、120 GHz帯のマーケティング活動を推進し、社会実装に必要な技術の調査の上、商品化計画の立案を行う。
- 300 GHz帯対応超高周波デバイス開発(B5G/6G/7G対応)と展開を図る。
- 温度無依存ヘテロジニアストランスミッタの動作実証