

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・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 (大)東北大学、パナソニックホールディングス(株)、浜松ホトニクス(株)、住友大阪セメント(株)、(学)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4年度までの総額600百万円(令和4年度347百万円)

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、令和4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、令和6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、入力光サブキャリア信号高強度化、UTC-PDメサ形状・面積最適化、UTC-PD部テロエピタキシャル層構造最適化および絶縁体格子構造導入により、120 GHz帯無線信号の中間周波数帯への変換で変換利得-30 dB以上達成の見込みを得た。消費電力10 mWを達成。
- 40 Gbaud級光データ信号から中間周波数帯への周波数帯下方変換実験のための測定系の構築・動作確認・課題抽出を完了。

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・モジュールに関して、光結合損失のシミュレーションを行い、目標を2年前倒しする結合効率-3 dB以内を満たす入力方式を開発設計し、パッケージ試作も完了し目標の結合効率を確認した。
- デバイス単体の実測評価基盤の構築及びダブルミキシング出力を確認完了。

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。

- 200nmノード/ウェハプロセスを実施し、2インチ換算で歩留まり50%以上を達成。同時に、3インチウェハでのプロセス上の課題を抽出した。
- ウェハプロセスで製作したデバイスは、東北大サンプルと同等レベルのダブルミキシング特性を実現できることを確認。(基礎特性の評価系を立ち上げて計測。)
- 内製試作したエピタキシャルウェハを用い、デバイス製作を実施。

1

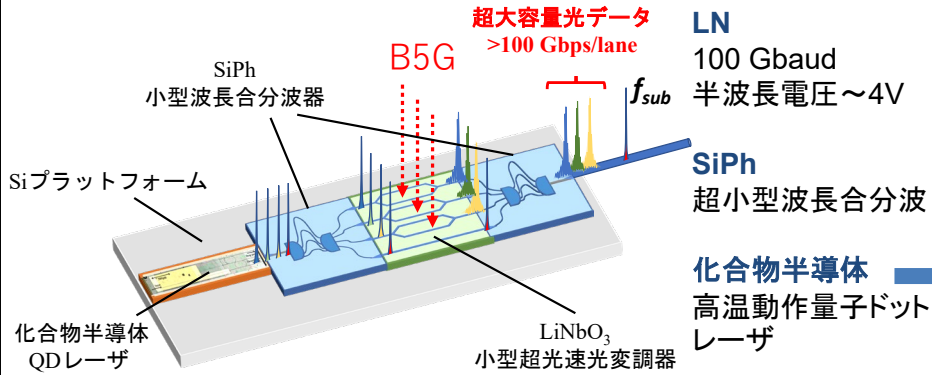
3. 研究開発の成果(つづき)

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

研究開発成果

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光変調器の光帯域67 GHz以上を達成。
光帯域の中間目標は70 Gbaudの7割の周波数に設定(光帯域: 50 GHz)
- 駆動電圧5.2 Vを達成。(中間目標: 6 V)
- ヘテロジニアス光集積用の薄膜LN変調素子を共同受託者(早稲田大)へ提供。
- 開発したヘテロジニアス光トランスミッターを共同で評価を実施し、課題を抽出。
- LN変調器の高性能化検討として、各種光閉じ込め構造を検討し、プロセスの予備検証を経て、有用性の高い構造を選定し、特性性能を試算完了。

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3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70 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設計し作製に着手。

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
8 (7)	3 (3)	7 (6)	77 (60)	0 (0)	1 (1)	0 (0)	9 (8)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

- (1) 表彰: 第59回(2021年度)電子情報通信学会業績賞
東北大学・尾辻泰一教授が、「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」により第59回(2021年度)電子情報通信学会業績賞を授与された(授与日2022年6月9日)。
- (2) 2022年47th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves・Swiss Terahertz Prizeの受賞
下記のポスター発表に対し、全ポスター発表312件のうち評価点第1位の最優秀論文に授与されるSwiss Terahertz Prizeを受賞した(授与日2022年9月2日): Dai 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," IRMMW-THz 2022, Delft, Netherland, Aug. 29, 2022.
- (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
下記の講演に対し、学生奨励賞が授与された(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の受賞
下記の講演に対し、学生優秀研究賞が授与された:
川名理緒, 北智洋, "シリコンフォトニ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.
- (5) MOC2022 Student Paper awardの受賞
Microoptics conference(イエナ)における下記の講演に対し、Student Paper awardが授与された(授与日2023年9月28日):
Yamato Misugi, Hideaki Okayama, and Tomohiro Kita, "Wavelength Sweep 2D Laser Beam Scanner"
- (6) 参考: 学術論文誌表紙への掲載
本研究の資金援助は得ていないものの、グラフェンデバイスに関する論文が、Physica Status Solidi A誌の表紙として連続して2回採用されており、本研究グループの極めてインパクトの高い研究として国内外で非常に注目を集めている。(DOI: 10.1002/pssa.202270001):
V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. Satou, V. Mitin, M. S. Shur, and T. Otsuji, "Ballistic Injection Terahertz Plasma Instability in Graphene n⁺-i-n⁺ Field-Effect Transistors and Lateral Diodes," Physica Status Solidi A: Appl. and Mat. Sci., vol. 219, iss. 1, pp. 2100694-1-8, Jan. 2022.
- (7) 応用物理学会 第51回 薄膜・表面物理 基礎講座(2022)
東北大学吹留 博一教授がBeyond 5Gと薄膜・表面物理の接点をテーマとする、若手研究者・学生を主対象としたBeyond 5Gと表面科学・デバイスに関連する基礎講座を主催した。研究代表者の尾辻泰一教授が「半導体プラズモニク機能デバイスの創出とその次世代Beyond 5Gテラヘルツ無線通信への応用」を題とした講演をした。

(8) The 13th International Conference on “Recent Progress in Graphene Research” (RPGR 2022)・Best Student Paper Awardの受賞

下記の講演に対し、Best Student Paper Awardが授与された(授与日2022年11月24日):

Koichi Tamura *et al.*, “Unipolar photothermoelectric THz detection assisted by Coulomb drift/diffusion of Dirac fermions in asymmetric dual-grating-gate graphene FETs”, RPGR 2022, Taipei, Taiwan/オンライン・ハイブリッド, 2022年11月16日.

(9) APL Photonics誌にFeatured Articleとして選出

下記の論文が、APL Photonics誌にFeatured Article(編集委員会により特に学術的意義・インパクトが高いと評価された論文)として選出され、インパクトの高い研究として国内外で非常に注目を集めている。(DOI: 10.1063/5.0122305):

K. Tamura *et al.*, “Fast and sensitive terahertz detection in a current-driven epitaxial-graphene asymmetric dual-grating-gate FET structure,” APL Photonics, vol. 7, iss. 7, pp. 16101-1-10, Dec. 2022.

(10) 2022年度東北大学工学研究科長賞の受賞

下記の修士論文に対し、東北大学工学研究科長賞が授与された(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,” 2022年度東北大学工学研究科長賞.

(11) 2022年度東北大学工学研究科優秀学生賞の受賞

下記の修士論文に対し、東北大学工学研究科優秀学生賞が授与された(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,” 2022年度工学研究科優秀学生賞.

(12) 2022年度修士論文賞(宮部賞)の受賞

下記の修士論文に対し、早稲田大学物理及応用物理学専攻(実験系)2件のみに与えられる修士論文賞が授与された(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,” 2022年度修士論文賞(宮部賞).

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

- 300 GHz帯周波数下方変換動作に向けた、二重回折格子ゲート構造を導入したInP系UTC-PD上部集積HEMTダブルミキサの試作・評価。
- 500 GHz帯動作に向けて、グラフェンFETダブルミキサを用いた500 GHz帯周波数下方変換実験による課題抽出。
- 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のためのテストベッドの構築。
- デバイスと120~300 GHz帯局部発振信号との高効率結合を果たす結合方式の、電磁界シミュレーションによる検討およびパッケージ化。
- 200nmノード/3インチウェハプロセスで明らかとなった課題を改善し、150nmノード/デバイスウェハの製作に取り組む。
- InP系UTC-PD上部集積HEMTダブルミキサへの-5dBを達成するLO信号の入力方式の開発並びに同方式を実現する量産化向けパッケージ技術開発

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(電気/光周波数応答3dB帯域70 GHz)、 V_{π} 4Vの強度変調器(単一マツハツェンダー干渉計)の開発と最終目標達成に向けた課題抽出。
- 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設計、試作。
- QD-DFBLレーザの100 °C以上の高温動作及び波長可変化に向けた課題抽出。