

令和 5 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 01301
 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

(1) 研究開発の目的

光ファイバネットワークで使用される近赤外光データと、B5G で使用されるサブテラヘルツ～テラヘルツ無線データとのシームレスかつ低遅延・超低消費電力な相互変換機能を実現する、光-B5G 無線間キャリア変換/データコンバータ技術を研究開発する。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 6 年度 (4 年間)

(3) 受託者

国立大学法人東北大学<代表研究者>
 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

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 3 年度から令和 5 年度までの総額 840 百万円 (令和 5 年度 240 百万円)
 ※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

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
 1-a) 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・プロセス基盤技術の研究開発 (国立大学法人東北大学)
 1-b) 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・システム化技術の研究開発 (国立大学法人東北大学)
 1-c) 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・プロセス量産化技術の研究開発 (浜松ホトニクス株式会社)
 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
 2-a) B5G 用超高速低電圧駆動光変調器の研究開発 (住友大阪セメント株式会社)
 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 (学校法人早稲田大学)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	11	3
	外国出願	21	18
外部発表等	研究論文	13	6
	その他研究発表	133	56
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	2	1
	展示会	1	1
	受賞・表彰	15	6

(7) 具体的な実施内容と成果

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

1-a) 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・プロセス基盤技術の研究開発
(国立大学法人東北大学)

InP系UTC-PD上部集積HEMTダブルミキサに関して、試作デバイスを用いた300GHz帯ダブルミキシング測定を行い、300GHz帯無線信号の50GHz中間周波数帯への周波数下方変換の実証に成功した。得られた実験結果と、デバイス動作の簡易をモデルを用いた解析から、300GHz帯における変換利得の向上に関する課題を抽出した。また、300GHz帯における変換利得向上を図るため、二重回折格子ゲートを導入したデバイス、ならびにInAlAsバリア層に代わりInPバリア層を導入したデバイスの試作をそれぞれ進めた。

グラフェンFETダブルミキサに関しては、500GHz帯以上でのダブルミキシング動作の実現に必要なFET基本性能(直流トランスファー特性、高周波特性)およびTHz帯電磁波検出性能に対する要求条件を定めるとともに、その特性を安定して実現できるデバイスプロセス技術の検討を行った。その結果、ゲート絶縁膜をナノメートルオーダの精度で安定に製膜・堆積できるプロセス装置導入を伴うゲートスタックプロセス技術の改良が不可欠であるとの結論に至り、第一に、原子層堆積法(ALD Atomic Layer Deposition)を新規導入して良好なAl₂O₃絶縁膜の堆積を実現した。第二に、Al₂O₃新ゲートスタック導入によるグラフェンFETの性能改善(意図しないキャリアドーピングの大幅な低減効果とそれに基づく直流伝達特性の大幅な改善)およびゲートを順方向バイアスで得られるトンネルダイオード特性をレクテナとして実装した新構造グラフェンレクテナFETを試作し、従来性能を凌駕する高速・高感度THz検出の実現および三次元整流効果と呼ぶ本課題実施者らが発見した新しいTHz検出原理の実証に成功した。さらに第三に、本年度目標を凌駕する1THz無線周波数帯での光データ信号からTHz帯無線データ信号、さらにはマイクロ波帯中間周波数データ信号へのダブルミキシングダウンコンバージョンの実証に成功した。

1-b) 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・システム化技術の研究開発
(国立大学法人東北大学)

UTC-PD上部集積HEMTへの光入力方式として、(a)デバイス基板裏面からの光入射、(b)表面からの入射、(c)側面からの入射のそれぞれに対し、光結合損失のシミュレーションおよび実測評価に必要な技術について情報収集ならびに調査、それぞれの評価方法の構想設計を行い、シミュレータおよび評価装置の構築に着手した。評価装置の信号発生部、計測部の導入は完了し、また、シミュレータへ入力するデバイスの実測値、設計値を入手し光学モデル作成に着手し、第二年次のシミュレーションおよび実測評価方法の確立に向けて準備を整えた。

1-c) 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・プロセス量産化技術の研究開発
(浜松ホトニクス株式会社)

UTC-PD上部集積HEMT素子について、150nmノードでの3インチウェハプロセスを実施し、抜き取りでのDC特性評価においてトランジスタ動作の発現を確認した。また、試作ロット間でソース・ドレイン電流や相互コンダクタンスの値の変動を確認し、原因の追究と改善に向けた見通しを立てた。これらは東北大学が適用している外注エピタキシャルウェハを用いた結果であるが、内製エピタキシャルウェハの結晶品質の改善検討もを行い、成膜ウェハを作製した。さらに交流特性の評価系についても操作性の改善を進め、赤外カメラや自動ステージの導入によって測定時間の短縮や計測再現性が向上した。

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

2-a) B5G用超高速低電圧駆動光変調器の研究開発(住友大阪セメント株式会社)

光変調素子の構造最適化を行い、100Gbaud級(光帯域70GHz)の広帯域化と2.5Vの低駆動電圧化を達成した。

薄膜LN変調素子のモジュール化検討では、薄板LN変調素子へのファイバやドライバアンブ接続を含めた取付け位置の検討や高周波インターフェースの検討を進めた。

デバイスの耐環境性の評価に向けて、光変調器の85℃における動作安定性や120℃の高温

保持試験の機器選定など耐環境性評価の準備を進めた。

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 (学校法人早稲田大学)

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、異種材料基板間3種類の接合損失2 dB/facet以下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。また、装置化技術の改良として、ヘテロジニアス接合装置を改良し、接合の位置ずれ精度0.2 μm以下の高精度化を実現した。

(8) 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

1-a) 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・プロセス基盤技術の研究開発 (国立大学法人東北大学)

InP系UTC-PD上部集積HEMTダブルミキサに関して、300 GHz帯における変換利得向上を図るとともに、100 Gbaud級のNRZ ASK変調光データ信号の300 GHz帯無線周波数(IF周波数75 GHz)への周波数下方変換の実証実験を行ない、デバイスのフィージビリティを検証する。グラフェンFETに関しては、2023年度に単一ゲートのレクテナGFETで実証した「三次元整流効果」をADGG-GFETに導入し、7G級500 GHz~1 THz帯でのTHzダブルミキシングの高感度化に挑むとともに、現行素子レベルにおける変換利得・帯域特性を実験的に明らかにし、グラフェンデバイスの7G級光無線融合化ダブルミキシングデバイスとしてのフィージビリティを明らかにする。

1-b) 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・システム化技術の研究開発 (国立大学法人東北大学)

システム化技術開発において、それぞれの光入力方式・集光系実装方式の組み合わせ(結合光学系)によって、入力光と光アクティブ領域との合わせずれによる結合損失の増大度、および量産化のしやすさが異なると予想されることから、今後、それらを総合的に判断し、光結合損失が最小限に抑えられると同時に量産化に適した組み合わせの選定を行なう。

1-c) 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・プロセス量産化技術の研究開発 (浜松ホトニクス株式会社)

150 nmノード/3インチウェハプロセスにおいて、現時点で得られた最良条件にてデバイス製作を重ね、プロセス安定性の確認を行う。また、HEMTの直流と交流特性の相関データを蓄積して規格化を行う。このデータの蓄積には評価系の自動化が不可欠であることから、静的および動的特性の計測自動化の検討も併行して進める。更に、内製エピタキシャルウェハの結晶品質の改良ウェハを用いたデバイスの作製、評価を実施する。

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

2-a) B5G用超高速低電圧駆動光変調器の研究開発 (住友大阪セメント株式会社)

令和5年度に開発した広帯域、低駆動電圧LN光変調器と早稲田大学が開発した高出力ヘテロジニアス波長可変レーザを組み合わせた100Gbaud級のヘテロジニアストランスミッタの試作と動作検証を行う。

光変調素子部をモジュール化し、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を行う。

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 (学校法人早稲田大学)

多段マッハ・ツェンダ干渉計を用いた4波長合分波器を薄膜LN光変調器に接続することで4レーンのヘテロジニアストランスミッタを作製する。さらに波長合分波器の温度無依存化を検討する。