

## 1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆課題名 : 高い環境耐性を有するキャリアコンバータ技術の研究開発
- ◆個別課題名 : 5G時代に対応した大容量・低遅延・シームレスな光/ミリ波変換デバイスの開発と実証評価
- ◆実施機関 : 株式会社デンソー、国立大学法人東北大学電気通信研究機構、国立大学法人東北大学大学院工学研究科、国立大学法人北海道大学、住友大阪セメント株式会社、日本電気株式会社
- ◆研究開発期間 : 平成28年度から平成30年度 (3年間)
- ◆研究開発予算 : 総額 600百万円 (平成29年度 200百万円)

## 2. 研究開発の目標

100Gbps級の光ネットワークと高周波モバイルネットワークを高効率でシームレスに接続することが可能な高い環境耐性を有するキャリアコンバータ技術を開発する。

## 3. 研究開発の成果

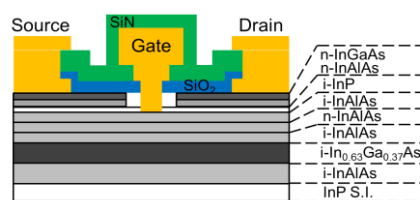
研究項目1 : キャリアコンバータ要素技術の研究開発

1-1. 光電子融合ミキサの研究開発(国立大学法人東北大学電気通信研究機構)

### 研究開発目標

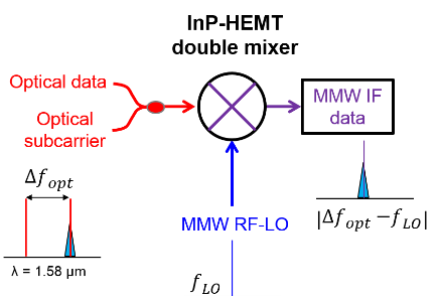
#### 光電子融合ミキサのミキシング変換効率向上とTIAハイブリッド実装の検討

1-1-1 プラズモニック・ナノアンテナ、光吸収層導入によるフォトミキシング変換効率向上の検証



1-1-2 プラズモン非線形整流効果導入によるフォトミキシング変換効率向上の検証

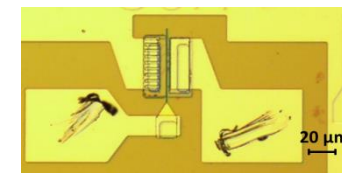
1-1-3 トランスインピーダンス増幅器(TIA)ハイブリッド実装の検討



### 研究開発成果

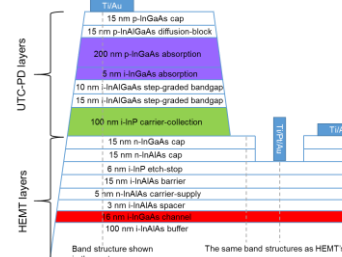
#### 研究開発成果1-1-1

・光吸収層としてUTC-PD構造をInP-HEMTソース側上部に集積した新構造デバイスを設計・試作し、フォトミキシング測定により、光吸収効率が向上していることを確認した。



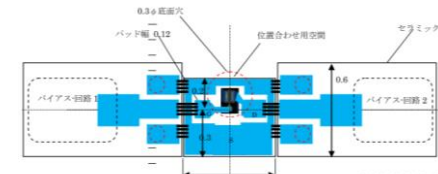
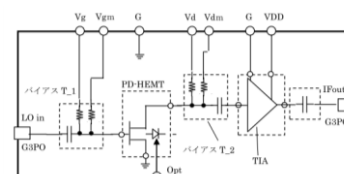
#### 研究開発成果1-1-2

・プラズモン非線形整流効果による変換効率向上の検証を行ない、今後の課題を抽出した。



#### 研究開発成果1-1-3

・上記のUTC-PD上部集積型HEMTとTIAとのハイブリッド実装に向けて、専用デバイスチップとモジュールパッケージの設計を完了した。

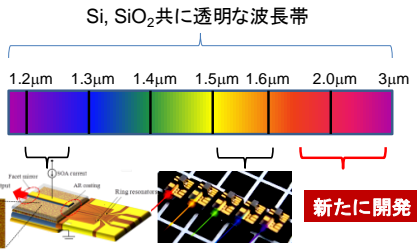


1-2. キャリアコンバータ用光源デバイスの研究開発(国立大学法人東北大学大学院工学研究科)

研究開発目標

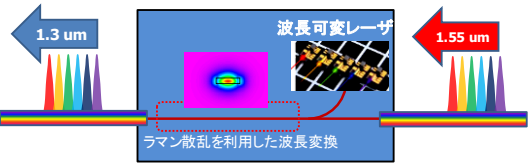
光キャリアコンバータの要素デバイスとなる様々な波長帯で動作する広波長帯域可変レーザの実現と非線形光学効果を利用したシームレスな光キャリア周波数変換の実証

1-2-1シリコンフォトニクスを用いた超小型波長可変レーザの開発  
すでに開発している1.3 μm帯、1.5 μm帯波長可変レーザの広帯域化と2 μm帯波長可変レーザの開発



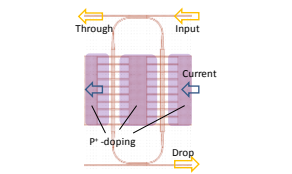
1-2-2シリコンの非線形光学効果を利用した波長変換技術の開発

シリコンの非線形光学効果の一つであるラマン散乱を利用した1.3 μm帯と1.5 μm帯相互の波長変換の実現

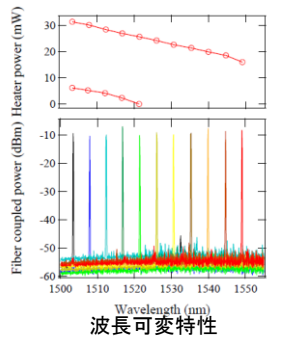


研究開発成果

研究開発成果1-2-1  
高速な波長切り替えが可能な直接通電構造を装荷したリング共振器と波長可変フィルタを試作し、高速かつ低消費電力な波長切り替え動作を実証した。さらに通電加熱構造の低抵抗化にも取り組み数V程度の印加電圧での波長切り替え動作への見通しを得た。また接着剤を用いたSOAとシリコンフォトニクスチップとの簡易接合を実施し、良好な発振特性を持つ波長可変レーザチップの試作に成功した。



直接通電加熱リング共振器



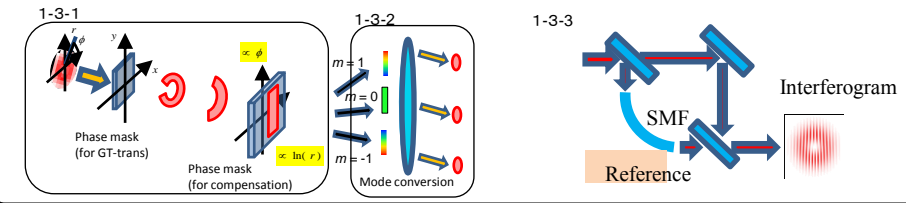
研究開発成果1-2-2  
1.3 μm帯から1.5 μm帯への波長変換における変換効率の波長依存性からラマン散乱以外の非線形光学効果の影響が大きいことが明らかになった。

1-3. 高精度OAMモード多重用高精度マルチプレクサ/デマルチプレクサ(国立大学法人北海道大学)

研究開発目標

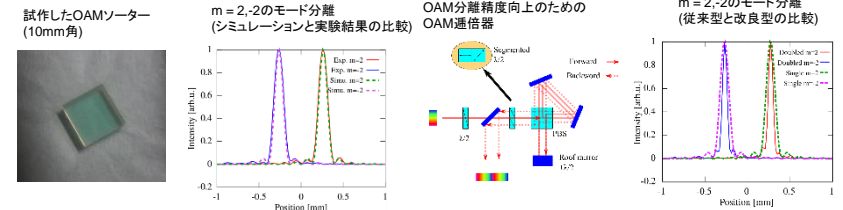
高精度OAMモード多重用高精度マルチプレクサ/デマルチプレクサの研究開発

- 1-3-1 OAMモード分解素子(OAMソーター)の開発
- 1-3-2 分解光渦 — 単一モードファイバ間の結合光学系の開発
  - OAMモード数4以上をサポートする、高精度OAMモード分解/合成素子の開発(挿入損失20%以下,隣接モード間のクロストーク-15dB以下を目標)
- 1-3-3 小型高精度OAMモード分解スペクトル測定装置の開発
  - 1-3-1,1-3-2を高精度に構築するための小型高精度評価装置の開発。



研究開発成果

- 1-3-1 OAMモード分解素子(OAMソーター)の開発
  - 偏光における幾何学的位相を利用したOAMソーターを試作し、1.5μmの光源に対してほぼ設計通りの特性を有することを確認した。
  - OAMを通倍化する独自の手法によってOAMソーターのOAM分離精度向上に成功。小型化とともに統合モジュール化の検討を進める。



- 1-3-2 分解光渦 — 単一モードファイバ間の結合光学系の開発  
OAMモード分解された光波の状態についてシミュレーションを行い、(準)シングルモード化するための課題抽出を行った。素子設計の最適化を進める。

1-4. 高効率ミリ波帯E/O変調モジュールの研究開発(住友大阪セメント株式会社)

研究開発目標

低駆動電圧 W帯(75~110GHz)光変調モジュールの実現

最終目標 : 固定ドライバによって110GHz駆動が可能なレベルの低駆動電圧化



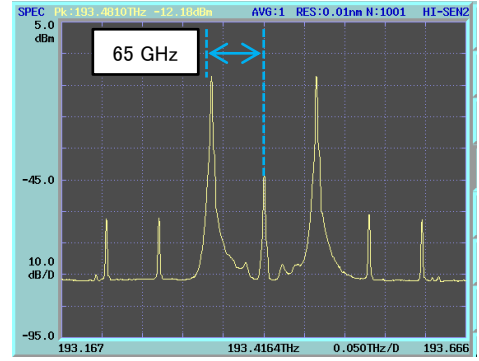
<28年度目標>

- ・ 導体損失を低減可能な電極構造の設計および電極形成技術の開発
- ・ W帯/高温環境下におけるモジュール性能の検証と課題抽出

研究開発成果

<29年度成果>

- ・ 低損失電極技術等を適用した試作品にて、65 GHz における  $V_{\pi} < 8 V$  を達成
- ・ V帯を超えるミリ波帯において、高周波接続、および伝搬特性に関する技術課題を抽出



65GHz信号入力時の光スペクトル

研究項目2 : キャリアコンバータの環境耐性実装技術の研究開発

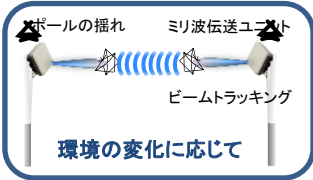
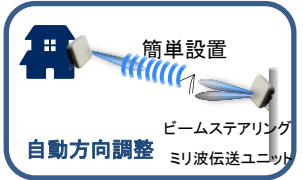
2-1. ビーム制御機能つきミリ波伝送ユニットの研究開発(日本電気株式会社)

研究開発目標

環境耐性を有するビーム制御機能つきミリ波ユニットの実現

- キャリア周波数 : 71GHz~86GHz
- 通信速度 : 1Gbps以上
- チャンネル帯域幅 : 250MHz~1GHz
- 送信距離 : 500m以上
- ビーム方向可変範囲方向 :  $\pm 5^\circ$  以上(方位角, 仰角方向)

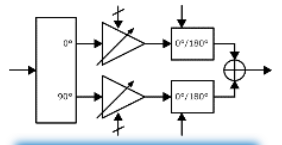
本研究開発にてミリ波ビーム制御の要素技術を確立し、将来的には伝送容量のさらなる拡大、ビーム方向可変範囲の拡大を目指す。



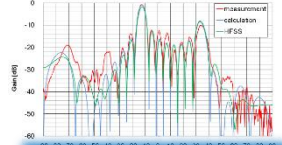
研究開発成果

成果

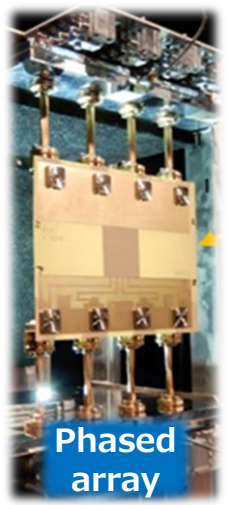
- **MMIC**・・・必要な回路機能の検討、単機能回路ブロックの試作・評価、素子単体のデータ取得、設計パラメータの確認と性能確認
- **アンテナ素子**・・・ガラスエポキシ樹脂の積層技術を用いたスロット素子の試作
- **フェーズドアレー**・・・ミリ波モジュールとスロット素子による8CHフェーズドアレーのビームステアリング機能の動作検証



Phase shifter



Beam steering



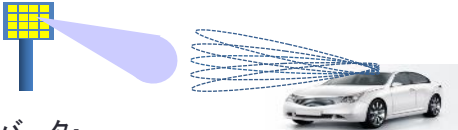
Phased array

2-2. 自動車実証システムの研究開発(株式会社デンソー)

研究開発目標

完全自動運転時代における大容量・低遅延通信の効果把握、高い環境耐性を有するデバイスの検証

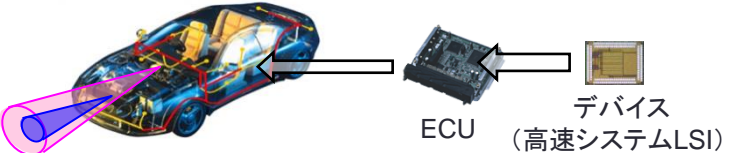
2-2-1 高速移動する車載側アンテナの  
ビームステアリング制御技術  
小型アンテナ設計技術



2-2-2 車載環境に対する キャリアコンバータ・  
ユニットの特性把握 及び 改善



2-2-3 自動運転の分散コンピューティングからみた課題抽出、  
ゲートウェイ技術・システムLSI技術



研究開発成果

- ◆研究開発成果2-2-1
  - ・Eバンド(80GHz帯)無線通信を車載し、インフラとの距離に対する受信電力、PERを評価可能な実験系を構築完了した。
  - ・高解像度カメラ映像を約1Gbpsかつ非圧縮で伝送し、車影からの飛び出しをリアルタイムで注意喚起するデモを実施し、課題を導出した。
- ◆研究開発成果2-2-2
  - ・キャリアコンバータ実証実験として他委託協力機関から御提供頂いた光変調器等を元に、Eバンド(80GHz帯)での実証実験を行い課題を抽出した。
  - ・委託協力機関と共に耐環境性に関する検討課題を導出すると共に、来年度予定の耐環境試験に関する計画を立案した。
- ◆研究開発成果2-2-3
  - ・従来ICでは高速化困難なデータ復調や情報処理を小型・低消費電力化するIC技術開発課題検討として、デジタル下方変換の基本構成を検証した。
  - ・そのIC要素技術となるオールデジタル時間領域処理型ADC-TAD基本アーキテクチャ(H28提案)による高速化と低電力化の微細化効果(40nm)を確認した。

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	プレスリリース 報道	展示会	標準化提案
11 (7)	1 (1)	3 (2)	62 (37)	0 (0)	6 (4)	2 (1)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

研究成果発表会等の開催に関しては特に無し

## 5. 今後の研究開発計画

### 1-1. 光電子融合ミキサの研究開発(国立大学法人東北大学電気通信研究機構)

- ・試作したUTC-PD上部集積型HEMTミキサによる性能向上を確認し、構造最適化や光導波路構造の導入などによりさらなる性能向上を図る。
- ・同HEMTミキサとトランスインピーダンス増幅器をハイブリッド実装したモジュールを開発する。

### 1-2. キャリアコンバータ用光源デバイスの研究開発(国立大学法人東北大学大学院工学研究科)

#### 1-2-1 シリコンフォトニクスを用いた超小型波長可変レーザの開発

- ・直接通電加熱構造を用いて10  $\mu\text{sec}$ 以下の高速波長切り替え動作を実証する。
- ・波長依存性の少ない方向性結合器を用いた波長フィルタを試作し15THz以上の超広波長域可変レーザを実現する。

#### 1-2-2 シリコンの非線形光学効果を利用した波長変換技術の開発

- ・シリコンチャネル光導波路における1.3  $\mu\text{m}$ 帯から1.5  $\mu\text{m}$ 帯への波長変換のメカニズムを解明し、波長変換効率の改善を図る。

### 1-3. 高精度OAMモード多重用高精度マルチプレクサ/デマルチプレクサ(国立大学法人北海道大学)

- ・試作したOAMソーター及び精度向上用の追加素子の動作検証及び改良を行うとともに、統合モジュールを試作する。
- ・分解光渦—単一モードファイバ間の結合光学系について、数値計算及び液晶光変調器等を用いた実証実験に基づいて透過型素子試作を行う。
- ・OAMモード分解スペクトル計測装置について、10cm $\times$ 10cm程度のサイズを目標として装置の完成を目指す。

### 1-4. 高効率ミリ波帯E/O変調モジュールの研究開発(住友大阪セメント株式会社)

- ・60GHzを越える高周波領域における特性改善に取り組み、70~80GHz帯に対応した光変調器の試作評価を実施する
- ・低駆動電圧(30GHzにおける半波長電圧4V未満)の高消光比変調器を試作し、委託連携者に供給する

#### 2-1. ビーム制御機能つきミリ波伝送ユニットの研究開発(日本電気株)

- ・ミリ波伝送ユニットの実現に向けて、MMIC、アンテナ素子及びミリ波モジュールの性能改善をさらに進める。
- ・ミリ波伝送ユニットの試作検証機を製作し、ビームステアリング機能について評価する。また、アルゴリズムによる動作検証を行う。

#### 2-2. 自動車実証システムの研究開発(株式会社デンソー)

- ・複数車両とインフラ間の通信や周辺車両による電波遮蔽の影響等、実使用環境を想定し、耐環境性、耐ロバスト性、製品実現性に対する技術課題を明らかにする。
- ・29年度に抽出されたEバンド(80GHz帯)でのキャリアコンバータ実験に関する課題対応へ向け、委託者/連携受託者と改善を進める。
- ・光変調器デバイスにおける耐環境性評価を行い、今後車載における課題を抽出する。
- ・車載システムLSIのアーキテクチャ検討を行うために、H30年度はアナログRF、AD変換器(ADC)およびデジタル下方変換の連携検討と、H29年度の成果を改良した超高速信号処理回路の検証を行い、それらのS/N、遅延、接続数などについて性能の比較を行う。
- ・車載システムLSIの要素技術のひとつとして、オールデジタル時間領域処理型ADC-TAD(Time-A/D converter)技術を含めた超高速回路の性能改良として微細化効果の検証を、微細CMOS適用回路シミュレーションにより確認し、更に最先端技術適用の効果を推定予測する。