

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: 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
 副題: 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、学校法人早稲田大学理工学術院、国立大学法人北海道大学大学院工学研究院、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～平成32年(5年間)
 研究開発予算: 総額1000百万円(平成30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

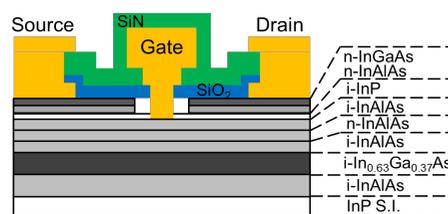
研究項目1: キャリアコンバータ要素技術の研究開発

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

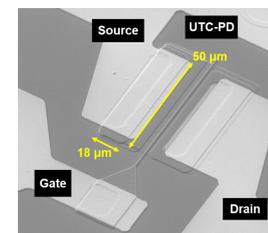
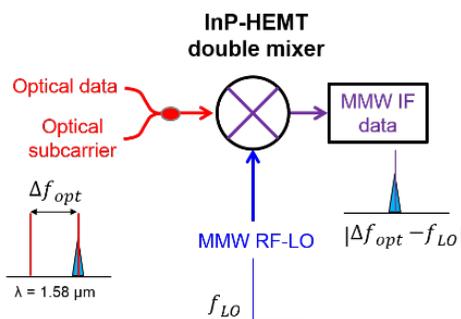
光電子融合ミキサのミキシング変換効率向上とTIAハイブリッド実装の検討

1-1-1 80 GHz帯40 Gbps級光信号・ミリ波信号周波数下方変換の検証



1-1-2 フォトミキサ感度 0.1 A/W

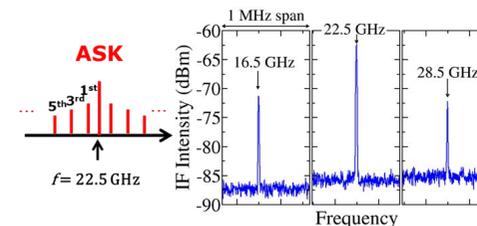
1-1-3 トランスインピーダンス利得 60dB クラス(1000V/A)



研究開発成果

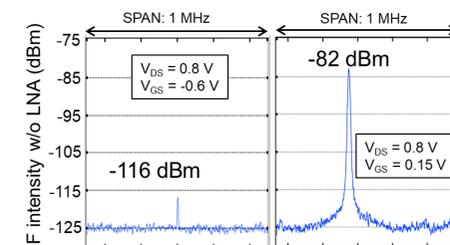
研究開発成果1-1-1

・HEMTを用いたIF周波数22.5 GHzで10 Gbps級信号・ミリ波信号周波数下方変換の検証成功



・位相変調を含むデータ信号(QPSK, QAM)への対応可能性の検証

・UTC-PD上部集積HEMTによるダブルミキシング出力強度34 dB向上の達成と、100 GHz帯100 Gbps級信号周波数下方変換実現に向けた課題抽出(特にUTC-PD部のフォトミキシング効率の改善)



標準 HEMT UTC-PD 上部集積HEMT

研究開発成果1-1-2

・UTC-PD上部集積HEMTにより、フォトミキサ感度0.2 A/Wの達成

研究開発成果1-1-3

・トランスインピーダンス利得49dB のトランスインピーダンス増幅器とハイブリッド実装したモジュール作製の完了



1-2. キャリアコンバータ用光源デバイスの研究開発 (学校法人早稲田大学理工学術院)

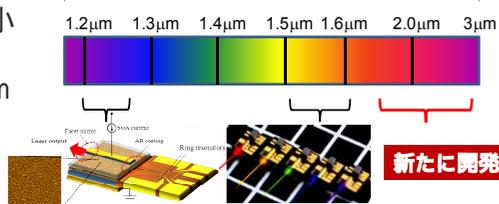
研究開発目標

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

Si, SiO₂共に透明な波長帯

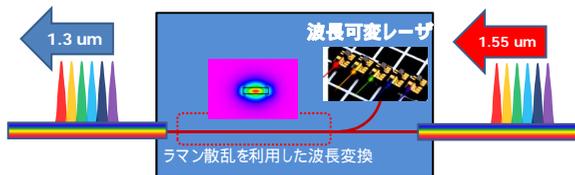
1-2-1シリコンフォトニクスを用いた超小型波長可変レーザの開発

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

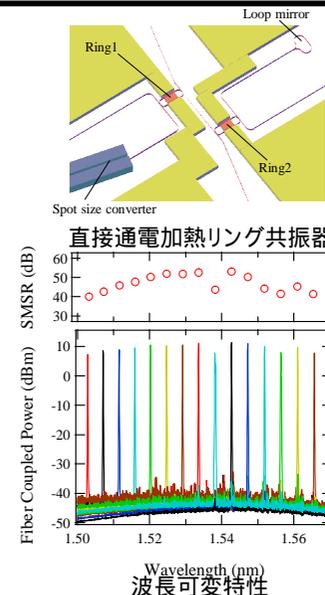
シリコンの非線形光学効果の一つであるラマン散乱を利用した1.3 μm帯と1.5 μm帯相互の波長変換の実現



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。



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大学院工学研究院)

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

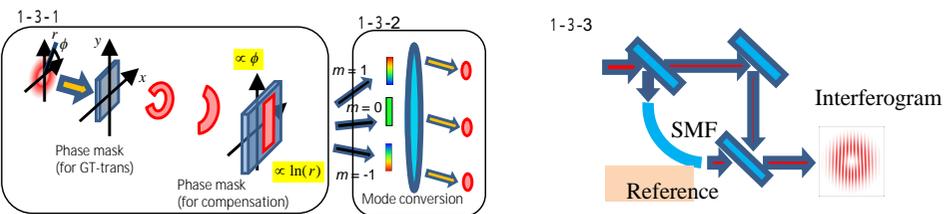
1-3-1 OAMモード分解素子(OAMソーター)の開発

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)

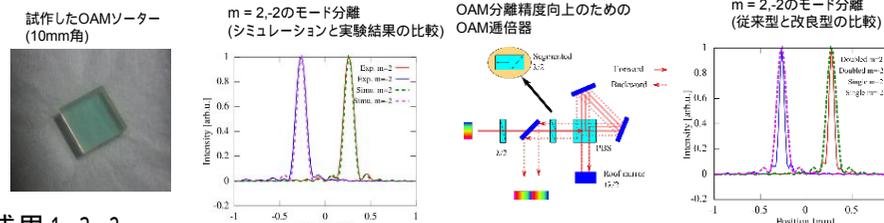
- 1%以下のサイドモードの検出



研究開発成果

研究成果1-3-1

- Berry位相を利用した新型OAMソーターを試作、ほぼ設計通りの特性を確認
- 光波複製による新規手法を用いてOAM分離精度向上に成功
- 7モードの動作及び、挿入損失 30%以下を確認
- 隣接モード間のクロストーク ~-11dBを確認(理論値-9.4dB)



研究成果1-3-2

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)シングルモード化のための設計をほぼ完了。

研究成果1-3-3

- 1%以下のサイドモードの検出が可能であることを確認

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

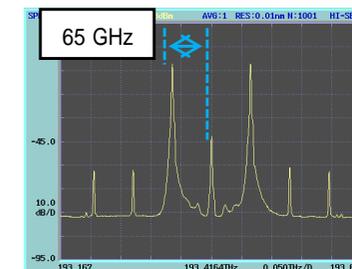


- 1-4-1 ミリ波帯特性の改善開発
 - ・半波長電圧V @65GHz 15V以下
 - ・60GHz以上の高周波領域の特性改善
- 1-4-2 変調器の特性改善試作とサンプル供給
 - ・高消光比変調器(V @30GHz < 4V) サンプル供給

研究開発成果

研究成果1-4-1

- ・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_π 8 V を達成
- ・高周波領域における劣化要因をシミュレーションにより特定



65GHz信号入力時の光スペクトル

研究成果1-4-2

- ・高消光比変調器構造で30GHzにおけるV_π 3V を達成
- ・委託連携先、関連プロジェクトにサンプル提供実施

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

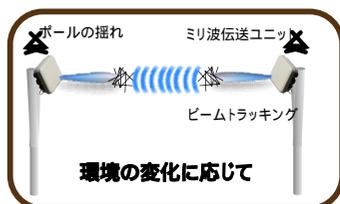
2-1. ビーム制御機能つきミリ波伝送ユニットの研究開発(日本電気株式会社)

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 : ±5° 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。



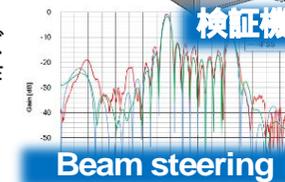
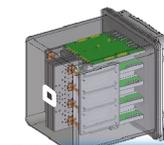
研究開発成果

要素技術の開発

- **MMIC**... E帯にて安定動作する位相器を開発。必要な回路機能の検討、単機能回路ブロックの試作・評価
- **アンテナ**... ガラスエポキシ樹脂の積層技術を用いて、ミリ波に適した低損失で小型化可能な、スロット素子を開発
- **環境測定**... 風環境によるミリ波リンクの伝送実験と路車間伝送実験(デンソーと共同)を実施し、様々な環境(風、反射、遮蔽、移動体)からのミリ波リンクへの影響を評価

ビーム制御機能つきミリ波伝送ユニットの開発

- **検証機**... ミリ波モジュールと8CHフェーズドアレイアンテナによるビームステアリング機能の動作検証を実施
- **アルゴリズム**... 自動方向調整を想定したアルゴリズムの検証および、検証機を用いたアルゴリズムの動作検証を実施



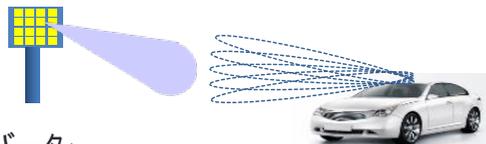
Beam steering

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

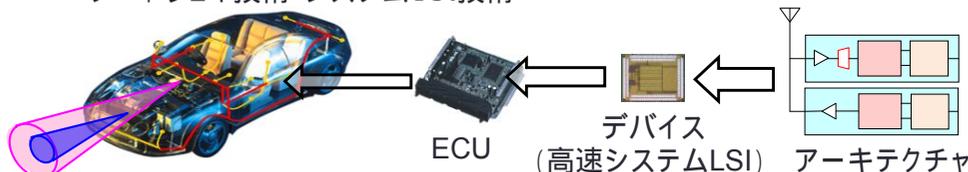
2-2-1 高速移動する車載側アンテナの
ビームステアリング制御技術
小型アンテナ設計技術



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

・80GHz帯無線通信機を路上機及び車両に搭載し、車両走行時の受信電力及び誤り率を評価可能な実験系を構築完了。大地反射による電力低下及び路車アンテナビーム不整合による通信品質劣化防止等の課題を抽出完了した。

研究開発成果2-2-2

・他委託協力機関から御提供頂いた40GHz対応高消光比光変調器にてEバンドキャリアコンバータ実証実験を行った結果、昨年度光変調器から大幅な特性改善により500m相当のQPSK/1Gbaud無線伝送を確認した。
・委託協力機関と共に耐環境性実験を行い、バイアス制御対策により環境温度に対する通信品質の劣化はほぼ影響が無いことが判明した。

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技術開発課題対応として、デジタル下方変換のアルゴリズム改良を実施した。
・IC要素技術として全デジタル時間軸処理ADC-TAD新規アーキテクチャによる高速化と低電力化の微細化効果(40/16nm)を確認、本成果を論文発表した。

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
17 (6)	5 (3)	5 (2)	90 (28)	0 (0)	9 (3)	3 (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)

- ・UTC-PD上部集積HEMTにおけるダブルミキシング出力改善(特に、UTC-PD部におけるフォトミキシング性能改善)のため、測定結果から課題抽出。
- ・H30年度の課題抽出結果を受け、性能向上させたUTC-PD上部集積HEMTの試作。さらに課題抽出。
- ・UTC-PD上部集積HEMTを用いたIF周波数 80 GHz、データレート40 Gbps級の検証実験。
- ・H31年度の課題抽出結果を受け、性能向上させたUTC-PD上部集積HEMTの試作。
- ・UTC-PD上部集積HEMTを用いたIF周波数 100 GHz、データレート100 Gbps級の検証実験。

1-2. キャリアコンバータ用光源デバイスの研究開発(学校法人早稲田大学理工学術院)

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

- ・広波長域・高速フィルタ設計。波長可変範囲:20 THz、ヒータ抵抗:1 kΩ以下
- ・波長フィルタチップ試作・評価
- ・高出力二波長レーザの設計(H31年度)
- ・接着剤結合モジュール試作。環境耐性の評価

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

- ・高変換効率設計
- ・導波路試作・評価

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)

1-3-1 OAMソーターの開発

- ・OAMソーター自体のパターンの最適化(短焦点化)による精度向上
- ・サニャック干渉計を複数個使用することで隣接モード間のクロストーク 約-15 dB以下を達成(以上 H30)

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

- ・SLMを用いた検証実験を終了後(H30)、Berry位相を用いた 偏光素子として試作(H30,H31)
- ・1-3-1との統合素子として試作、改良(H31~H33)
- ・サイズの縮小化(10 cm x 10 cm程度)などの小幅の改良(H30)
- ・実験室外の環境(廊下、野外?)における検証実験...環境耐性(クロストーク等)のOAMモード依存性
- ・無線用の素子の試作

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)

1-4-1: 最終目標 $V_{pi}@110GHz < 20V$ に向けての特性改善

- ・シミュレーションにより要因特定された高周波特性劣化対策
- ・高周波電気接続部改善(RFコネクタピン-LNチップ接続部)

1-4-2: サンプル供給

- ・連携委託者やRoF関連研究者へのサンプル試作、供給

5. 今後の研究開発計画

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)

・検証機の製作とその動作検証

H30年度・・・1次元ステアリング

H31年度・・・各要素技術の実装

H32年度・・・ANT-RF一体化、2次元ステアリング

2-2. 自動車実証システムの研究開発(株式会社デンソー)

2-2-1

・大地反射、ビーム方向不一致による通信切断回避に向けた対策方法の立案

2-2-2

・車載ユニットとしての適用性の検証(2030年以降を見据えた課題の抽出と改善策の検討)

2-2-3

・16nmCMOS適用並列化による高性能化検証

・微細化効果に基づくADC将来性能推定

・アルゴリズム改良による低電力化