

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、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、株式会社メガチップス
- ◆研究開発期間：平成28年度～令和2年度（5年間）
- ◆研究開発予算：総額 1000百万円（令和元年度 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)

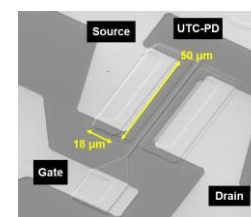
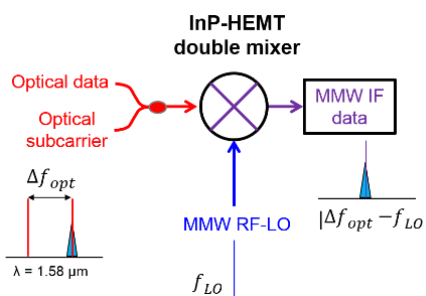
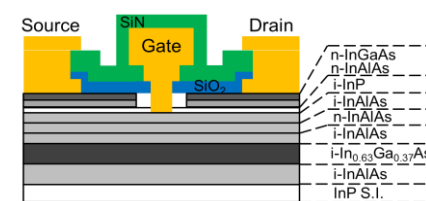
研究開発目標

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

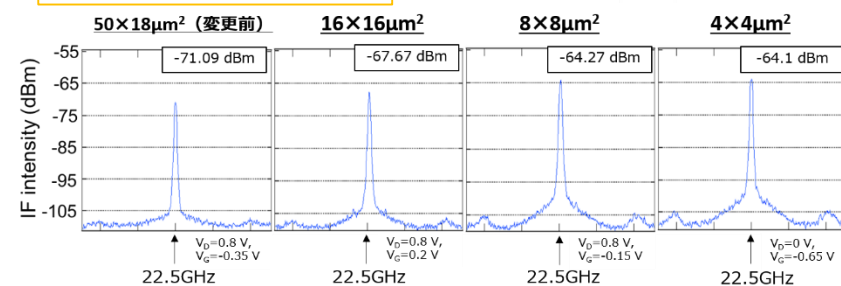
1-1-3 トランスインピーダンス利得 60dB Ω クラス(1000V/A)



研究開発成果

・UTC-PD上部集積HEMTに関して、UTC-PD部のメサ面積縮小による出力強度の向上

Optical input: 5 dBm, 112.5 GHz
RF-LO: 7.7 dBm, 90 GHz



・ASK変調光データ信号からW帯IFデータ信号への(IF周波数92.5 GHz、帯域17.5 Gbps)直接周波数下方変換実験に向けた実験系の拡張

・トランスインピーダンス利得49dB Ω のトランスインピーダンス増幅器を二段ハイブリッド実装するモジュールの設計

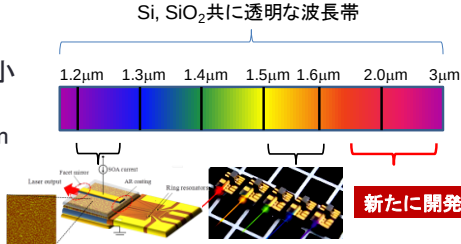
1-2. キャリアコンバータ用光源デバイスの研究開発(学校法人早稲田大学)

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

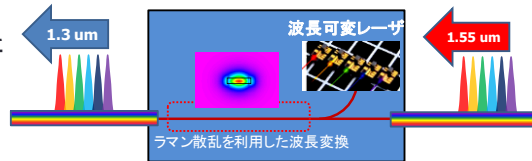
1-2-1シリコンフォトニクスを用いた超小型波長可変レーザの開発

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

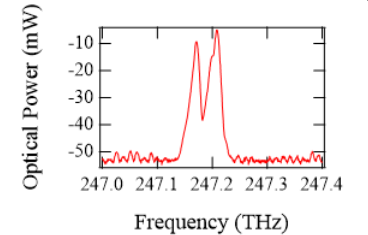
シリコンの非線形光学効果の一つであるラマン散乱を利用した1.3 μm 帯と1.5 μm 帯相互の波長変換の実現



研究開発成果

研究開発成果1-2-1

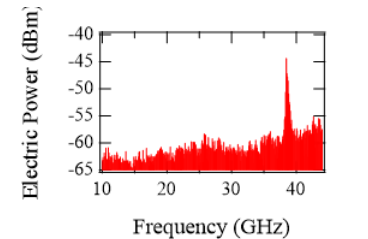
高速にレーザ発振周波数を変化させるために開発した通電加熱型熱光学位相シフターを装荷した光スイッチにおいてオーバードライブ制御を用いることで1 μsec 以下の高速なスイッチングに成功した。また、量子ドット光増幅器を用いた二波長レーザにおいて1200nm帯の二波長の周波数差に対応する38.5GHzのミリ波の観測に成功した。



二波長レーザの光スペクトル

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。



発生したミリ波のスペクトル

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

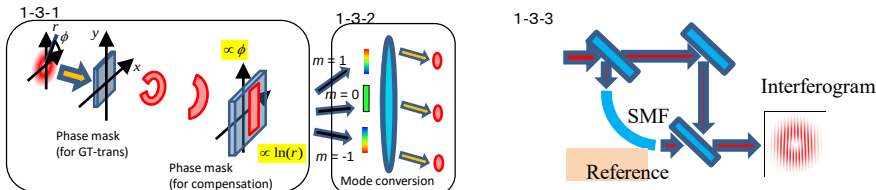
1-3-1 OAMモード分解素子(OAMソーター)の開発

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)

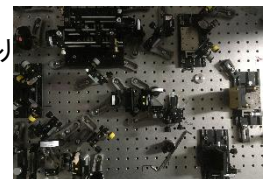
- 1%以下のサイドモードの検出



研究開発成果

研究成果1-3-1

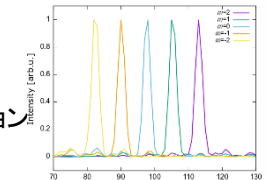
- Berry位相を利用したOAMソーターを試作、ほぼ設計通りの特性を確認
- 光波複製を用いたOAM分離精度向上に成功
- 7モードの動作及び、挿入損失 30 %以下を確認
- 低損失空間強度変調フィルタにより隣接モード間のクロストーク $\sim$ -17dBを実現(理論値-9.4dB)
- 装置小型化のため偏光回折素子を用いた光波複製系を試作、ラックマウント化可能との見通しを得た。



偏光回折素子を利用した光波複製光学系

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。



OAM分解特性

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_{π} @65GHz $\leq 15V$ 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_{π} @30GHz < 4V) サンプル供給

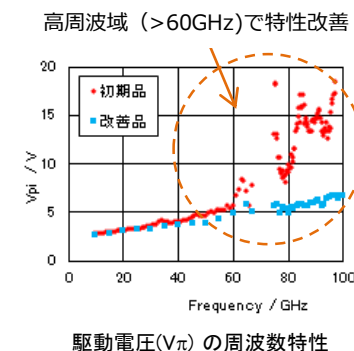
研究開発成果

研究成果1-4-1

- ・ シミュレーション等を用いて、高周波領域における特性劣化要因を特定。劣化抑制を図る設計を適用し、高周波域までスムーズな特性を実現

研究成果1-4-2

- ・ 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

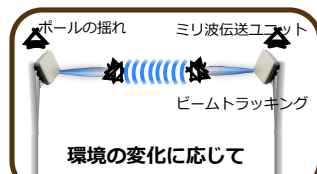
2-1. ビーム制御機能つきミリ波伝送ユニットの研究開発(日本電気株式会社)

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 : $\pm 5^{\circ}$ 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認し、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

MMIC

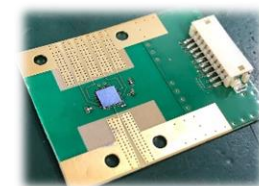
- 必要となる回路機能を集積化し、4系統の送信アンテナの位相を制御するMMICを試作・評価し、実際にプリント板に表面実装して、アンテナ部を含む動作特性を検証した

アンテナ

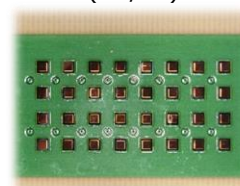
- ガラス上形成したアンテナ素子を試作・評価し、広角にわたって利得低下の少ないビームスキャンができることを検証した

アルゴリズム

- 狭ビームでの2次元ステアリング(AZ/EL)を機械的な追尾実験により検証した



MMIC



アンテナ



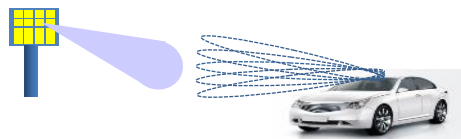
アルゴリズム

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



研究開発成果

◆研究開発成果2-2-1

・前年度の実証実験の結果から出した車載アンテナの要件を満足させるアンテナの構造として誘電体ホーンアンテナと0次アンテナの2タイプを提案した。両方ともアンテナ単体での特性はシミュレーションと試作及び実測で、要件の周波数帯域と側面放射特性を満足することを確認した。誘電体ホーンアンテナは構造関連特許を出願した。

◆研究開発成果2-2-2

・他委託協力機関から御提供頂いた100GHz対応高消光比変調器にてEバンドキャリアコンバータ実証実験を行った。受信側について、昨年度はEバンドからダウンコンバート(4GHz帯)後に光変調器を動作させていたが、今年度はEバンドのまま光変調器を動作させてQPSK/1.1GBaudを実現した。

2-3. 車載LAN向け光・電気混載ネットワーク対応通信方式の基礎検討、実証(株式会社メガチップス)

研究開発目標

実用に近い車載LAN向けPHYモデル・プロトタイプ開発、および電気から光への連続検証の基礎検討

- 2-3-1 モデルベース開発、検証

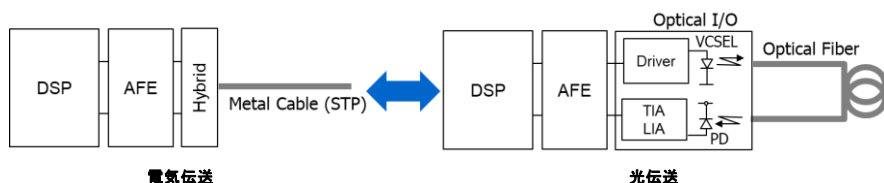
・実用に近い車載LANフォーマット、ベースバンド変調の電気および光のPHYモデル開発、simulationでの性能検証。

- 2-3-2 プロトタイプ(電気)の開発、実証検証

・FPGAによるプロトタイプ開発。メタルハーネス(STP)での初期性能評価。

- 2-3-3 プロトタイプ(光)の開発、実証検証

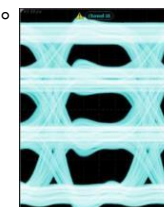
・プロトタイプの光対応修正、光モジュール/ファイバ含む実機検証環境構築。



研究開発成果

◆研究開発成果2-3-1

- ・実用に近いIEEE802.3chベース(PAM4)のPHYモデルを開発完了。
- ・メタルハーネス(STP)、シングルペアで10Gbps超の電気伝送をsimulation実証。
- ・光リンク部(電気/光変換、光モジュール、光ファイバ)のモデルも作成し、光でのPAM4伝送をsimulation実証。



光simulation
PAM4 10Gbps

◆研究開発成果2-3-2

- ・FPGAとディスクリートデバイス(ADC/DAC)で構成するプロトタイプを開発。メタルハーネス(STP)での初期性能評価にて装置上限の2.5Gbps伝送でシステム要求のBER<1e-12を達成。

◆研究開発成果2-3-3

- ・光リンク部のプロトタイプを構築。初期性能評価として、NRZ方式での信号波形を取得し、光モデルとの整合性を確認した。



光リンク部の伝送試験波形

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
20 (3)	9 (4)	5 (0)	110 (20)	4 (1)	0 (0)	12 (3)	3 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

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。
 - ・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。
 - ・令和元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)
 - 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
 - ・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
 - ・1-3-1との統合素子として試作、改良
 - ・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
 - ・最終目標である110GHzまで半波長電圧(V_{π}) 20V以下 の特性を安定して実現する方法検討
 - 1-4-2 サンプル供給
 - ・最終目標である30GHzにおける半波長電圧(V_{π}) 3.5V以下のモジュール試作
 - ・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(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 ビームステアリング制御技術の研究開発

- ・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 実証システムの高信頼性実装技術の研究開発

- ・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)

2-3. 車載LAN向け光・電気混載ネットワーク対応通信方式の基礎検討、実証(株式会社メガチップス)

2-3-1 モデルベース開発、検証

- ・令和元年度開発のシミュレーションモデルを実機評価結果と比較し、モデルにフィードバック

2-3-2 プロトタイプ(電気)の開発、実証検証

- ・FPGAプロトタイプにて、メタルハーネス(STP)での性能評価、シミュレーションとの差分評価、車載LAN通信方式の実機検証

2-3-3 プロトタイプ(光)の開発、実機検証

- ・FPGAプロトタイプ+光リンク(光モジュール/光ファイバ)の実験系にて、光伝送性能および光シミュレーションとの差分を評価

2-3-4 電気⇄光のメディアコンバージョンの方策検討

- ・上記結果と車載LANに求められる要件等を踏まえ、電気⇄光のメディアコンバージョンの方策を検討