令和2年度研究開発成果概要図 (目標・成果と今後の成果展開)

採択番号:18501

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 2016年度~2020年度 (5年間)

◆研究開発予算 総額1000百万円 (令和2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

研究開発項目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 1-1-1 100 GHz帯100 Gbps級光信号・ p-InGaAs cap photomixing ミリ波信号周波数下方変換の検証 p-InAlGaAs diffusion-bloc p-InGaAs absorption 1-1-2 フォトミキサ感度 0.2 A/W (227 nm) IF data signal 1-1-3 トランスインピーダンス利得 i-InAlGaAs step-graded i-InP carrier-collection 60 dB Ω クラス (1000 V/A) n-InGaAs cap n-InAlAs cap i-InP etch-stop Optical RF mixing i-In_{0.53}Ga_{0.47}As channel (19 nm) i-InAlAs buffer MMW RF-LO $|\Delta f_{opt} - f_{LO}|$ S.I. InP substrate λ = 1.58 um Optical data signal & optical subcarrier signal f_{LO}

研究開発成果

研究開発成果1-1-1

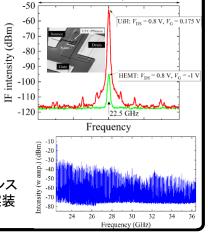
- UTC-PD上部集積HEMTによるダブルミキシ (weg) たっぱ
 て43 dB程度)
- ・IF周波数22.5 GHzでの10-Gbps ASK PRBS データ信号の周波数下方変換と、IF周波数 109 GHzでの周波数下方変換の検証成功

研究開発成果1-1-2

•フォトミキサ感度0.22 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59.4 dB Ω のトランスインピーダンス増幅器(2段)とハイブリッド実装したモジュール作製の完了

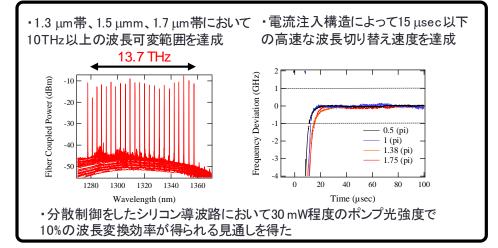


1-MHz span

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(~2017年度)、学校法人早稲田大学(2018年度~))

研究開発目標 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 ・1.3 μm帯、1.5 μmm、2 μm帯において 10 THz以上の波長可変範囲 ・波長可変速度50 μsec以下 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を利用して10%の変換効率

研究開発成果



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

ラマン散乱を利用した波長変換

研究開発目標

研究開発成果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
- ・光波複製及び低損失空間変調フィルタを用いてOAM分離精度向上に成功
- ・9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 ~-15dBを確認(理論値-9.4dB)

試作したOAMソーター (10mm角)



研究開発成果

研究開発成果1-3-2

研究開発成果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

研究開発成果

研究開発成果

低駆動電圧 W帯(75~110GHz)光変調モジュールの実現

最終目標: 110GHzまで駆動が可能なレベルの低駆動電圧化



<最終目標>

1-4-1 ミリ波帯特性の改善開発

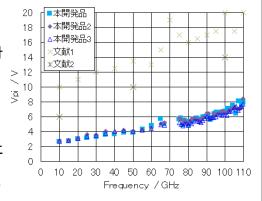
・ 半波長電圧 V π @110 GHz ≤ 20 V以下

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(Vπ@30GHz < 3.5V)
- ・連携委託者やRoF技術者へサンプル供給

<成果>

- 低駆動電圧化、高周波対応設計等を適用した試作品にて、 Vπ@110GHz 9V以下達成 光コネクタとRFコネクタを有する LNモジュールとしては、世界最高 (2021年1月18日時点)
- 高消光比変調器構造で30GHzに おけるVπ 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



文献1:J.Macario, at.el., JLT vol.62, no.2, pp306-312(2014) 文献2:https://www.phasesensitiveinc.com/components/optical-modulators

研究開発項目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

成果

- ミリ波ビーム制御の要素技術(下記)を確立し、目標(左記)を達成した
- ミリ波ビーム制御を活用したアプリケーション実現の見通しを得た

■要素技術

- MMIC・・・送信/受信のビーム制御機能つきMMICの試作・評価を行い、E帯にて振幅・位相特性が良好に動作することを確認した
- ミリ波モジュール・・・MMICとアンテナ素子を組み合わせ、良好なビームステアリング動作を確認した(変調信号を含む)
- ▼ンテナ・・・ガラス材料を用いたアンテナ素子を試作・評価を行い、広角にわたって安定した ビームステアリング動作を確認した
- ビーム制御アルゴリズム・・・検証機の試作、ソフトウェアの製作と屋外でのビームステアリン グ実験検証を実施した
- 環境測定・・・ミリ波の伝搬環境の調査実施と通信品質のモデル化を行い標準化に提案した。
- 100GHz超ミリ波ユニット・・・D帯RFデバイスの設計・シミュレーションを実施し、100GHz超への 適用可能性を確認した

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開発

キャリア周波数:71GHz~86GHz

● 通信速度 :1Gbps以上

チャネル帯域幅 : 250MHz~1GHz

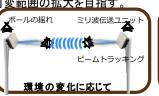
● 送信距離 : 500m以上

● 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。

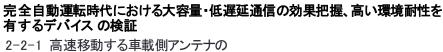






研究開発目標

研究開発成果



2-2-1 高速移動 9 る単載側アンテアの 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
 - 車載信頼性の検証
 - インフラ及び車載システムの デモンストレーション



◆研究開発成果2-2-1

・実証実験で路車間通信用車載アンテナ仕様(利得24dBi, サイズ40x40x10mm, ビーム可変角(仰角5°、水平角±5°)を抽出してそれを満足するアンテナ開発を行った。車のルーフ上搭載且つアンテナの小型化の為に0次共振アンテナを提案した。また、アレイ化の時生じる放射損を抑圧する為にマイクロストリップラインによる給電ネットワークではなくポスト壁導波路による給電ネットワークを用いたアレイアンテナ構成を提案し目標利得とサイズを実現し、関連特許も出願した。ビーム可変角はアレイ構成の設計で仰角はステアリンの必要ない放射パターンを実現した。水平角はアンテナ個々の位相の操作の必要なくアレイ列ことの位相操作だけで目標仕様を満足できるように設計行い、仕様の満足することを確認した。

◆研究開発成果2-2-2

- ・-40°C~+125°Cの耐環境試験を実施し、光変調器のバイアス制御にて通信品質にほぼ影響が無くなることを確認。
- ・無線機/光変調器/ホーンアンテナを用いて、80GHz帯で無線通信や無線と光 の直接変換に成功しQPSK/帯域2000MHzで通信距離514mを確認した。また、 光変調器/アンテナに結果をフィードバックした。

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(2019年度~))

研究開発目標

研究開発成果

実用に近い車載LAN向け電気伝送、光伝送のPHYモデル・プロトタイプ開発、および電気⇔光のメディアコンバージョンの検討

- 2-3-1 モデルベース開発、検証:
- ・実用に近い車載LAN通信方式用いた電気PHYモデル、光PHYモデルを開発
- 2-3-2 プロトタイプ(電気)の開発、実証検証:
- ・FPGA+ディスクリートデバイスでプロト機を開発、実機検証
- 2-3-3 プロトタイプ(光)の開発、実証検証:
- ・光対応プロト機を開発、光伝送性能評価、simulationと比較
- 2-3-4 電気⇔光のメディアコンバージョンの方策検討:
- ・モデルsimulation及びプロト機の電気と光の性能比較、車載LAN要件を踏まえ、 電気⇔光のメディアコンバージョンの方策検討

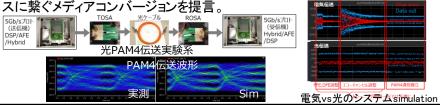


研究開発成果2-3-1:802.3chベースに電気、光の双方のPHYモデル、Sim環境を構築。DSP/AFEを電気、光で共通化。PAM4,10Gb/s超伝送をSimで検証。

研究開発成果2-3-2: FPGA+ディスクリート部品の2.5Gb/sプロト機に加え、部品をボード集約した5Gb/sプロト装置を作製。STP15m, PAM4, 5Gb/s伝送を実証。

研究開発成果2-3-3: 光リンク部を構築しNRZ,10Gb/s動作実証。光リンク部と電気処理部を接続した光プロト機を構築し、光でのPAM4,5Gb/s伝送を実証。

研究開発成果2-3-4: 高精度SimにてPAM4, 10Gb/sでの電気、光の性能・信号処理規模・消費電力を検証し、システムコストの視点から電気⇔光をシームレ



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・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞•表彰
29 (9)	12 (3)	8 (3)	126 (15)	9 (2)	0 (0)	12 (0)	4 (1)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

- 1. 特許
 - ・特許件数はほぼ達成であった。
 - ・3月末に間に合わなかった特許は4月以降に出願予定。
- 2. 外部発表
- ・研究論文より口頭発表の方がスピーディに活動をアピールしやすく、一般口頭発表が目標を大きく上回った。
- ・研究論文は件数こそ未達であったが、"PHOTONIC TECHNOLOGIES FOR AUTONOMOUS CARS"特集号 Editor 's Pickに選出されたり、招待論文が掲載されるなど研究成果を大きくアピールできた。
- ・今後も積極的に発表していく予定。
- 3. 標準化
- 目標を上回る提案を実施。
- 4. その他
- ・研究成果論文/発表に対して、4件受賞。
- ・テストコースを用いて80GHz帯を使った移動体無線伝送の実証試験を実施。

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- (1)計画
 - •研究開発

今後立ち上がるBeyond 5Gなどの研究に対して、本研究開発成果を展開する予定。

▪標準化

研究開発成果で得られた知見を標準化へ提案しており、今後も標準化に向けて活動を継続する予定。

∙製品化

研究開発成果を既存製品へ適用することで性能向上を図る予定。また市場動向を見ながら製品化を進める予定。

(2)展望(5年後程度を予想)

5Gが4G同等にエリア展開されて、5Gサービスを活用したサービスが展開されていることが予想される。またBeyond 5Gの開発が本格化し、5Gより更に大容量、低遅延のネットワークとなることが予想される。大容量ネットワークには、OAMマルチプレクサ/デマルチプレクサの活用が期待される。また、5Gにスモールセルが本格運用されることが予想され、その中心技術としてRoF(Radio over Fiber)を用いたネットワークが構築されることが期待される。