

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号： 2 4 5 0 6

研究種目： 基盤研究(C) (一般)

研究期間： 2017 ~ 2019

課題番号： 1 7 K 0 6 3 9 2

研究課題名 (和文) 3 次相互変調歪みを光学的に補償する電気光学変調器

研究課題名 (英文) Electro-optic Modulator for Compensating the Third Order Intermodulation Distortion by Optical Interference

研究代表者

榎原 晃 (Enokihara, Akira)

兵庫県立大学・工学研究科・教授

研究者番号： 1 0 5 1 4 3 8 3

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 3,600,000 円

研究成果の概要 (和文) : マッハツェンダ型電気光学変調器 (MZM) は高速な光変調が可能のため、光通信で広く用いられているが、応答特性が非線形なために歪みが発生する。特に、3 次相互変調歪み (IMD3) はフィルタ等で除去できず、その抑圧は重要な課題である。本研究では、波長チャープ変調を行う 2 つの MZM の出力光を干渉させて、光学的に IMD3 を抑圧する新しい歪み補償の手法を提案し、原理実証をした。さらに、2 つの MZM と信号分配回路とを集積化した小型で単一チップ構成の実用性の高い歪み補償光変調器を実際に設計・作製し、通常の MZM に比べて 20dB 以上の IMD3 成分の抑圧に成功し、その有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本提案は、光変調器の波長チャープと歪み発生との関係を詳細に検討し、従来からの課題であった非線形歪補償に適用した。また、それを実際の素子構造に落とし込み、さらに、信号分配回路を集積化した光変調器を実際に作製した。動作原理の検証だけでなく、単体で動作する素子を実際に作製して動作実証を行うことによって、想定できなかった問題点が明らかになり、より実用性の有効性の高い研究成果となった。従来、単一チップ構成で単一入力動作する歪み補償光変調器の報告は見当たらず、本光変調器は、実用性が高く、産業上の意義も大きいものと思われ、将来の光伝送システムで重要な素子となる可能性がある。

研究成果の概要 (英文) : Mach-Zehnder modulators (MZMs) can operate in high-speed modulation and are generally used for optical communication systems. However, MZMs theoretically make nonlinear responses. Distortions induced by the nonlinearity may become a serious problem. The third-order intermodulation distortion (IMD3) cannot be removed by frequency filters. The IMD3 may affect the system performance. In this research, a new optical compensation method of the nonlinear distortion in electro-optic modulators was proposed. The IMD3 are optically suppressed by using two MZMs operating with frequency chirp modulation and its performance was successfully confirmed. We designed and fabricated the modulator with the single-chip structure and the single-input operation by integrating the two MZMs with the microwave power divider circuit. The IMD3 compensation operation was experimentally confirmed. The IMD3 component could be suppressed by more than 20 dB compared to the conventional MZM.

研究分野： マイクロ波フォトニクス

キーワード： 電気光学変調器 非線形 3 次相互変調歪み 波長チャープ ニオブ酸リチウム

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電気光学変調器で光強度変調を行う場合に、マッハツェンダ型電気光学変調器(MZM)が広く用いられている。MZMの基本原理図とその応答特性を図1に示す。位相変調部で位相変調された光波を合波・干渉し、位相差 ϕ に応じた出力光の強度変化を得る構成である。しかし、その応答特性は厳密には非線形であるため歪みが発生する。特に、2周波のミキシングで生じる3次相互変調歪み(IMD3)は基本波成分の近傍に発生するため(図2参照)、フィルタでは取り除くことができない。しかし、MZMの非線形歪み補償は困難なため、現状では、低い変調度でMZMを駆動してIMD3の影響を抑えており、ダイナミックレンジを犠牲にしている。

一方、波長チャープとは光強度変調の際に光波の波長が変動する現象で、チャープパラメータ α で定量的に表される。MZMの動作を詳細に検討した結果、MZMの変調光を光検出器で受信した際の基本波成分とIMD3成分との位相関係が、 α の影響を受けることがわかった。この特性を利用したIMD3成分を選択的に抑圧するための構成を図3に示す。2つのMZMが並列接続されたデュアルパラレル型マッハツェンダ光変調器(DPMZM)構成で、それぞれのMZMは互いに逆符号の α を持つよう光変調を行い、位相調整部で位相差を調節して合波し、IMD3成分を干渉させて取り除く。この時、基本波成分間の位相差は波長チャープの影響でIMD3成分とは異なるため干渉で相殺されず、足し合わされて出力される。

MZMの波長チャープは、図4のように2つの位相変調部に、互いに逆位相で異なる振幅の変調信号を与えて位相変調をアンバランスにすれば生じる[1]。そこで、IMD3抑圧のためにはDPMZMの4つの位相変調部に、それぞれ個別に振幅と位相が制御された変調信号を供給する信号分配回路が必要となる。この回路は複数のマイクロ波回路部品をケーブル接続して構成することもできるが、この回路の小型化も重要な課題である。

図5には、変調指数に対する基本波成分とIMD3成分の強度を計算した結果の一例を示す。IMD3成分が通常の単一のMZMに比べて大きく抑圧されており、顕著な歪み補償効果が確認できる。本歪み補償法は、光学的にIMD3成分を取り除くので、変調信号の周波数には原理的には依存せず、高速変調動作に非常に有利である。また、図3の光分岐はすべて等分配であるため、分岐比率の調節が不要であり、導波路構造が簡単で、汎用DPMZMを使って動作確認ができる。従来の歪み補償では、電子回路で歪みを相殺するプレディストーションが一般的であるが、高速で動作させるMZMへの適用は困難である。光学的な歪み補償方法も報告されているが、従来の方法では光分岐比率を設定する必要がある[2,3]。そのため、光分岐構造を工夫して電極等を配置し、分岐比率を調節する機構が必要であり、導波路構造が複雑になる上、光分岐比率が波長に依存するなど安定性での課題も予想される。

2. 研究の目的

本研究では、新しく提案した波長チャープ変調を行う2つのMZMの出力光を互いに干渉させ、光学的にIMD3を抑圧する手法の有効性を実証する。さらに、実際に、2つのMZMと、それらに変調信号を供給するための信号分配回路とを集積化した小型、単一チップ構成で、かつ、単一入力信号で動作する実用性の高いIMD3補償光変調器を作製し、動作実証を行うところまでを本研究の目的とする。

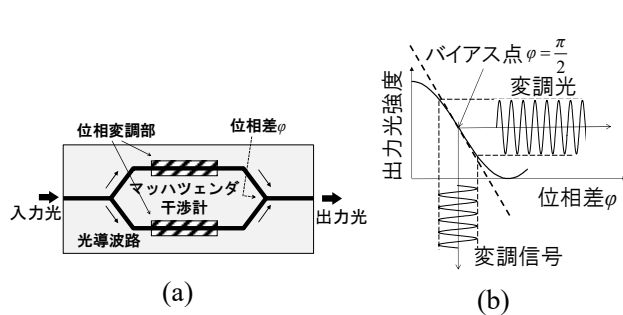


図1 MZMの基本原理図と応答特性

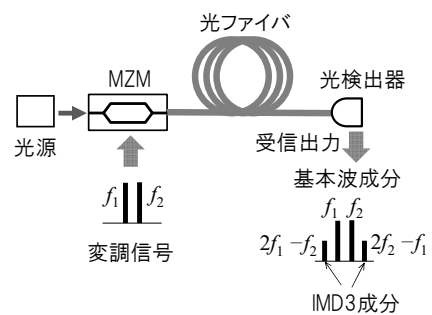


図2 光変調におけるIMD3の発生

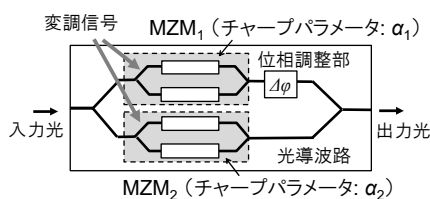


図3 提案する歪み補償光変調器の構成 ($\alpha_1 = -\alpha_2$)

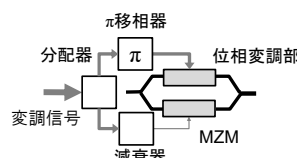


図4 MZMの波長チャープ制御

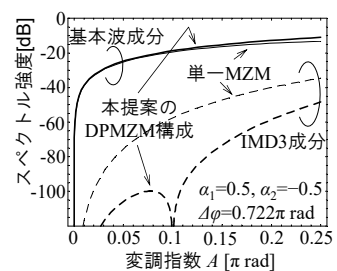


図5 歪み補償特性の計算例

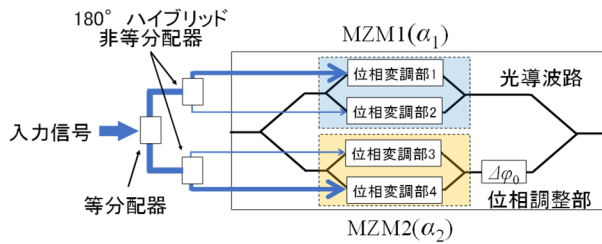


図6 分配回路を用いた歪み変調器の構成

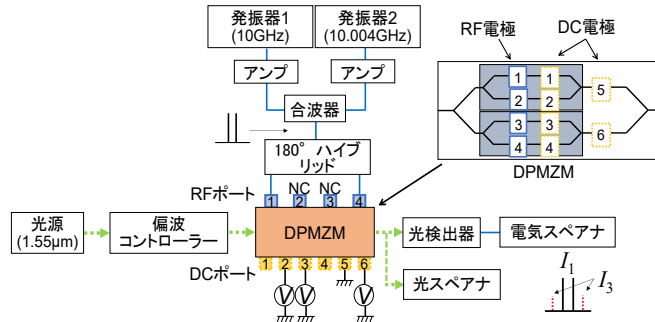


図7 実験系

の IMD3 抑圧性能を有する変調器を実現することを目指す。

4. 研究成果

(1) 分配回路と DPMZM を用いた歪補償動作の実証

はじめに、図3の構成を用いて IMD3 補償動作を確認する実験について述べる。提案した変調器構造は、図6に示すように変調信号分配回路を用いた DPMZM で実現できる。実験には住友大阪セメント社製の DPMZM を用いた。図のようなマイクロ波回路を組み合わせた構成にすることで、2つの MZM を互いに逆符号のチャープパラメータで動作させることが可能になる。

図7に実験系を示す。 $f_1=10\text{GHz}$ と $f_2=10.004\text{GHz}$ の2周波信号波を 180° ハイブリッドで2つに分けて、DPMZM の位相変調部1と4に入力した。この場合、MZM1 と MZM2 は $\alpha_1=+1$ 、 $\alpha_2=-1$ となる。また DC 電圧源を DC バイアスポート2、3、6に接続し、MZM の光位相バイアス、および移相量 $\Delta\phi_0$ を調整した。波長 $1.55\mu\text{m}$ レーザ光を用い、フォトディテクタでの受信出力のスペクトルを電気スペクトルアナライザで観測した。

変調指数 A を $0.2\pi \text{ rad}$ にしたときの位相調整電極に印加した電圧 V_0 に対する受信出力の基本波成分 I_1 と IMD3 成分 I_3 の測定結果を図8に示す。図より、 $V_0=-4.44\text{V}$ 付近で IMD3 成分のみが抑圧されていることが分かる。次に、 $V_0=-4.44\text{V}$ に固定し、入力信号電力を変化させて、位相変調部での変調指数 A と I_1 、 I_3 との関係性を測定した結果を図9に示す。また、図9には比較のため通常の単一 MZM 動作時の測定結果も示す。ここでは、光変調器への入力光強度が同じになるように換算している。図より、DPMZM による構成の光変調では、 A が $0.2\pi \text{ rad}$ 付近で抑圧されていることが分かる。また通常の単一 MZM と比べて、 A が 0.25π 以下の範囲で IMD3 成分が 20dB 以上抑圧されていることが確認できる。また図10は、電気スペクトルアナライザで観測した受信出力のスペクトルの例を示している。図10(a)の基本波の両側にある IMD3 成分は、 V_0 を

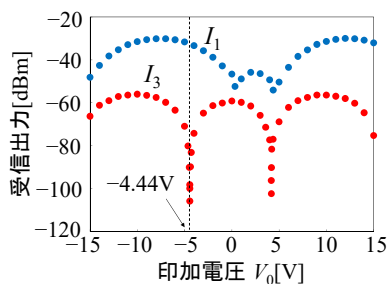


図8 基本波成分(I_1)と IMD3 成分(I_3)の位相調整電極に印加した電圧 V_0 に対する変化

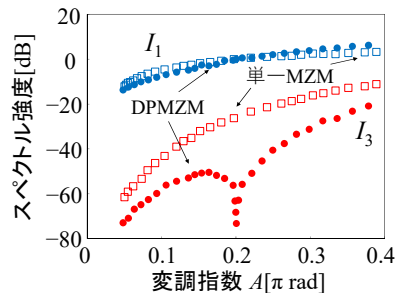
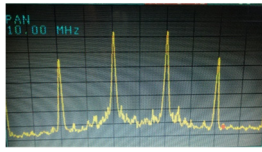


図9 基本波成分(I_1)と IMD3 成分(I_3)の変調指数 A に対する変化

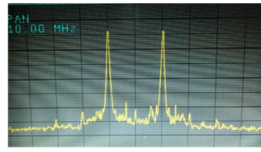
3. 研究の方法

はじめに、提案する歪み補償変調器の変調動作の原理を詳細に解析し、理論的に歪み補償性能を証明する[4]。そして、市販の汎用 DPMZM を用いて歪み補償実験を行い、動作原理を実証する。

次に、より実用性の高い歪み補償変調器を実現するための変調器構造の改善と性能の向上を目指す。まず、歪み補償変調器実現に必要な信号分配回路をプレーナ構造で設計し、回路基板上に作製する。そして、DPMZM を実際に設計、試作し、それらを接続して歪み補償変調器を構成し、歪み補償変調動作を実証する。最終的に、信号分配回路を DPMZM 基板に集積化し、小型で、かつ単一チップ、単一入力の歪み補償変調器を実際に設計、試作し、実験的に動作を実証する。目標仕様としては、変調指数が $0.2\pi \text{ rad}$ 以下の範囲で、従来の電気光学変調器に比較して 20dB 以上



(a) 通常の変調時
($V_0=10.0V$)



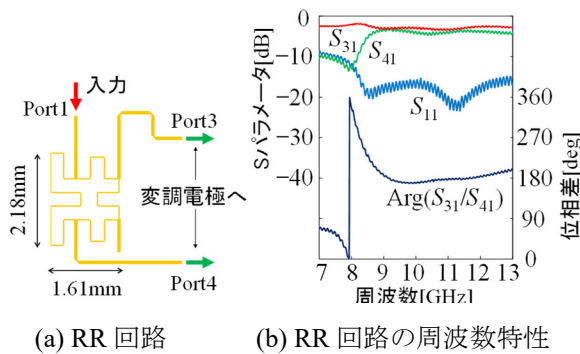
(b) IMD3 抑圧点
($V_0=-4.44V$)

図 10 受信出力のスペクトル

ブリッドとして動作するラットレース(RR)回路を DPMZM 基板上に集積し変調電極と一体化した単一入力可能な歪補償光変調器を検討した。RR 回路は、電気長が $\lambda/4$ の 3 本の線路と、1 本の $3\lambda/4$ 線路から構成されており、入力ポートからの信号を、互いに逆相の 2 つの信号に分配する機能がある。

図 1 1 (a)に電磁界解析を用いて、変調電極に接続することを想定して中心周波数 10GHz で設計した RR 回路を示す。RR 回路を小型化するために、ミアンダライン構造を採用した。基板は 0.5mm 厚の z-cut LiNbO₃(LN)単結晶基板で、線路導体は 20 μ m 厚の金薄膜を想定して設計を行った。ポート 1 は信号入力用で、ポート 3 および 4 は変調電極に信号を供給するためのもので、180°位相差を保つように線路の長さを決定している。図 1 1 (b)に LN 基板上に電解メッキにより作製した RR 回路部分を、プローバを用いて測定した結果を示す。図より、10GHz 付近では逆位相で等分配されており、180°ハイブリッドとして動作が得られていることがわかる。

図 1 2 に設計した RR 回路と変調電極とを一体化した DPMZM の電極パターンを示す。変調電極長は 20mm とし、位相変調部 2 と 3 に対応する光導波路上に配置されている。この場合、それぞれの MZM のチャープパラメータは $\alpha_1=-1$ 、 $\alpha_2=+1$ で動作することになり、先ほどの実験と同じ動作条件が実現できる。変調電極の線路幅は 10 μ m、中心のグランド電極の幅は 70 μ m、線路とグランド電極のギャップは全て 10 μ m とした。また、RR 回路のポート 3 と 4 はテーパ構造で線路を徐々に細くして変調電極と接続した。変調電極とは別に、位相変調部 1 と 4 に対応する光導波路上には、各 MZM の動作点を定めるバイアス電極を設けている。さらに MZM2 の出力部分には、移相量 $\Delta\phi_0$ を調整するための位相調整用電極を設けている。光導波路は 7 μ m 幅で、Ti 熱拡散により LN 基板上に作製し、バッファ層を設けた後、膜厚 20 μ m の金パターンを電解メッキ法により形成した。



(a) RR 回路

(b) RR 回路の周波数特性

図 1 1 変調電極に接続することを想定したラットレース

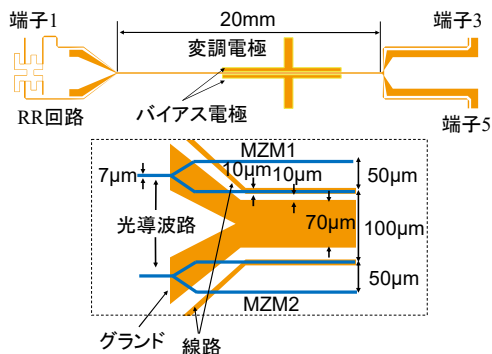


図 1 2 ラットレース回路を一体化した変調電極パターン

-4.44V に設定することで、顕著に抑圧できていることが分かる[5]。

(2) マイクロ波ハイブリッド回路を一体化した DPMZM の設計および作製提案した変調器の構成では、図 6 で示したように DPMZM の各変調電極に変調信号を供給するためにマイクロ波分配回路が必要である。ここでは 180°ハイ

(3) 作製した分配回路一体型歪み補償変調器の評価実験

作製した変調器の IMD3 補償特性を確認する実験を行った。図 1 3 に測定用治具に取り付けた変調器を示す。金ワイヤーによるエアブリッジで RR 回路や変調電極のグランド電極同士を接続しており、また治具のコネクタと回路パターンの各ポートも同様に接続している。作成した変調素子の端子 1 に $f_1=10\text{GHz}$ と $f_2=10.004\text{GHz}$ の 2 周波信号波を入力し、端子 3、5 には終端器を接続した。また他の端子には、MZM の光位相バイアスおよび移相量 $\Delta\phi_0$ を設定するために

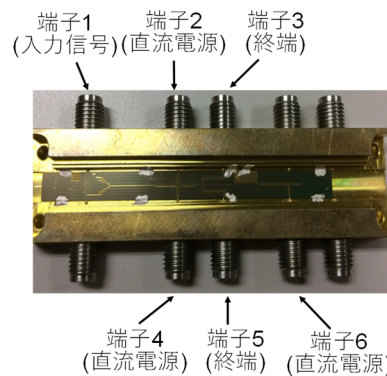


図 1 3 測定用治具に取り付けた変調素子

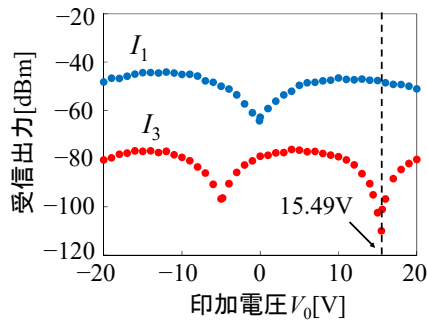


図 1 4 I_1 と I_3 の V_0 に対する変化

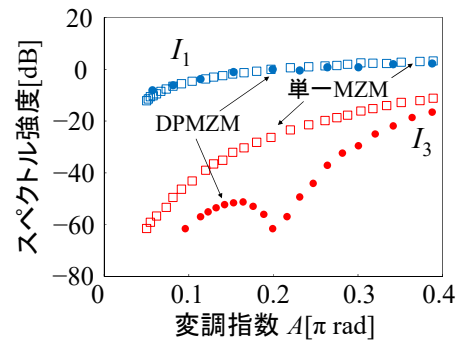


図 1 5 I_1 と I_3 の A に対する変化

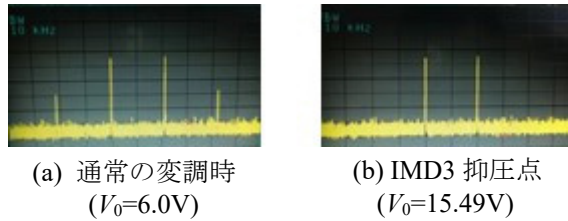


図 1 6 受信出力のスペクトル

DC 電圧源を接続した。変調指数 A を 0.2π rad に設定したときの位相調整電極に印加した電圧 V_0 に対する受信出力の各スペクトル強度の測定結果を図 1 4 に示す。図より、 $V_0=15.49\text{V}$ 付近で IMD3 成分のみが選択的に抑圧されていることがわかる。次に、 V_0 をこの電圧に固定し、入力信号電力を変化させて、位相変調部での変調指数 A と I_1 、 I_3 との関係性を測定

した結果を図 1 5 に示す。また、図には比較のため通常の単一 MZM 動作時の測定結果も示す。図より、作製した DPMZM の光変調器では、 A が 0.25π rad 以下の範囲で通常の単一 MZM と比べて、IMD3 成分が 20dB 以上抑圧されていることがわかる。また、図 1 6 は電気スペクトルアナライザで観測した受信出力のスペクトルの例を示している。(a)の基本波の両側にある IMD3 成分は、 V_0 を 15.49V に設定することで、(b)に示すように顕著に抑圧できることがわかる。これらから、歪み抑圧に関しては、外部に接続したマイクロ波分配回路を用いた構成による結果(図 8 ~ 1 0)に比較しても、ほぼ同様の IMD3 の補償性能が得られていることが確認できる。以上の結果より、分配回路である RR 回路を DPMZM 基板上に集積化することで、単一チップ構成、単一入力可能な IMD3 補償光変調器の動作を実証することができた。[6]

(4) 結論

新しく提案した歪み補償変調器の変調動作の原理を解析し、理論的に歪み補償性能を証明した。そして、汎用の DPMZM を用いて歪み補償実験を行い、動作原理を実証した。さらに、信号分配回路を DPMZM 基板上に集積化し、小型で、かつ単一チップ、単一入力の歪み補償変調器を実際に設計、試作し、実験的に動作を実証した。また、目標仕様である、変調指数が 0.2π rad 以下の範囲で、従来の電気光学変調器に比較して 20dB 以上の IMD3 抑圧性能を満足することを実験的に実証できた。今後は、変調器の構成をより小型化し、さらに性能の向上を目指すとともに、本素子の応用展開を模索していく予定である。また、3 年間の科研費研究で満足いく研究結果が得られたことから、この知見を新しい光学素子の研究開発にも生かしていきたい。

<引用文献>

- [1] A. Enokihara, M. Yamamoto, T. Kawai, and T. Kawanishi, "Low Chirp Modulation by Electro-optic Intensity Modulator Using Microwave 180-degree Hybrid Directly Formed on LiNbO₃ Substrate," IEICE Transactions on Electronics, vol.E98-C, no.8, pp.777-782, 2015.
- [2] S. K. Korotly, and R. M. Ridder, "Dual Parallel Modulation Schemes for Low-Distortion Analog Optical Transmission," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.8, no.7, pp.1377-1381, 1990.
- [3] J. L. Brooks, G. S. Maurer, and R. A. Becker, "Implementation and Evaluation of a Dual Parallel Linearization System for AM-SCM Video Transmission," IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, vol.11, no.1, pp.34-41, 1993.
- [4] Y. Kashiwagi, K. Takase, T. Kawai, A. Enokihara, N. Yamamoto, and T. Kawanishi., "Compensation of Third-Order Inter Modulation Distortion by Using Frequency Chirp Modulation for Electro-Optic Modulator," 2018 Progress in Electromagnetics Research Symposium, pp.2011-2017, 2018.
- [5] 柏木悠汰、古林大地、河合 正、榎原 晃、瀧澤由佳子、山本直克、川西哲也、「3 次相互変調歪補償のためのマイクロ波ハイブリッド回路を一体化したデュアルパラレル電気光学変調器」電子情報通信学会マイクロ波・ミリ波フォトニクス研究会、MWP2018-77, 2019.
- [6] D. Furubayashi, Y. Kashiwagi, T. Sato, T. Kawai, A. Enokihara, N. Yamamoto, and T. Kawanishi, "Electro-Optic Modulator for Compensation of Third-Order Inter Modulation Distortion Using Frequency Chirp Modulation," to be published in IEICE Transaction on Electronics, vol.E103-C, no.11, 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kashiwagi Yuta, Takase Kosuke, Kawai Tadashi, Enokihara Akira, Yamamoto Naokatsu, Kawanishi Tetsuya	4. 巻 -
2. 論文標題 Compensation of Third-Order Inter Modulation Distortion by Using Frequency Chirp Modulation for Electro-Optic Modulator	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 2018 Progress in Electromagnetics Research Symposium	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/PIERS.2018.8597804	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakano Ryoto, Kawai Tadashi, Enokihara Akira	4. 巻 -
2. 論文標題 76GHz band Rat-Race Circuit Utilizing Composite Right-/Left-Handed Transmission Line without Chip Elements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 12th German Microwave Conference	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/GEMIC.2019.8698195	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Furubayashi Daichi, Kashiwagi Yuta, Kawai Tadashi, Enokihara Akira, Yamamoto Naokatsu, Kawanishi Tetsuya	4. 巻 -
2. 論文標題 Dual-Parallel Mach-Zehnder Modulator Integrated with 180-degree Hybrid for Compensation of Third-Order Intermodulation Distortion	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 24th OptoElectronics and Communications Conference (OECC) and 2019 International Conference on Photonics in Switching and Computing(PS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/PS.2019.8817737	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 羽岡 侑哉、河合 正、榎原 晃	4. 巻 J103-C
2. 論文標題 終端短絡/開放結合線路を用いた X 帯広帯域疎結合プランチラインカプラ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 C	6. 最初と最後の頁 17-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakai Ryosuke, Haoka Yuya, Nagano Kensuke, Kawai Tadashi, Enokihara Akira	4. 巻 -
2. 論文標題 Compact Uniplanar Rat-Race Circuit Utilizing Shunt Capacitors and Crossover-Type Phase Inverter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APMC46564.2019.9038814	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Haoka Yuya, Kawai Tadashi, Enokihara Akira	4. 巻 -
2. 論文標題 Design of Broadband Branch-Line Couplers Utilizing Coupled Transmission Lines at Ka-Band	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 12th Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GSMM.2019.8797672	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 D. Furubayashi, Y. Kashiwagi, T. Sato, T. Kawai, A. Enokihara, N. Yamamoto, and T. Kawanishi	4. 巻 E103-C
2. 論文標題 Electro-Optic Modulator for Compensation of Third-Order Inter Modulation Distortion Using Frequency Chirp Modulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計35件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Y. Haoka, T. Kawai, and A. Enokihara
2. 発表標題 X-Band Broadband Branch-Line Coupler with Loose Coupling Utilizing Short-/Open-Circuited Coupled Transmission Lines
3. 学会等名 Thailand-Japan Microwave (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kawai, R. Nakano, A. Enokihara, and M. Horibe
2. 発表標題 76/150 GHz Bands Rat-Race Couplers Utilizing Composite Right-/Left-Handed Transmission Lines
3. 学会等名 6th Smart City Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柏木悠汰、古林大地、河合 正、榎原 晃、瀧澤由佳子、山本直克、川西哲也
2. 発表標題 3次相互変調歪補償のためのマイクロ波ハイブリッド回路を一体化したデュアルパラレル電気光学変調器
3. 学会等名 電子情報通信学会マイクロ波・ミリ波フォトニクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羽岡侑哉、河合 正、榎原 晃
2. 発表標題 Ka帯広帯域疎結合ブランチャインカプラの設計
3. 学会等名 電子情報通信学会マイクロ波研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古林大地、柏木悠汰、河合 正、榎原 晃、瀧澤由佳子、山本直克、川西哲也
2. 発表標題 分配回路を一体化したDPMZMによる3次相互変調歪補償
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古林大地、柏木悠汰、河合 正、榎原 晃、瀧澤由佳子、山本直克、川西哲也
2. 発表標題 デュアルパラレル型電気光学変調器を用いた3次相互変調歪補償のための信号入力方法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羽岡侑哉、河合 正、榎原 晃
2. 発表標題 2段結合線路を用いたX帯広帯域3dB ブランチラインカプラの検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羽岡侑哉、河合正、榎原晃
2. 発表標題 結合線路を用いたX帯広帯域ブランチラインカプラ
3. 学会等名 電気学会電子デバイス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 羽岡侑哉、河合正、榎原晃
2. 発表標題 結合線路を用いたKa帯疎結合広帯域ブランチラインカプラの検討
3. 学会等名 電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Kawai, Y. Haoka, and A. Enokihara
2 . 発表標題 Broadband Branch-Line Coupler Utilizing Coupled-Transmission Lines for 5G Applications
3 . 学会等名 International Microwave and RF Conference (IMaRC2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Kashiwagi, K. Takase, T. Kawai, A. Enokihara, N. Yamamoto, T. Kawanishi
2 . 発表標題 Compensation of Third-Order Inter Modulation Distortion of Electro-Optic Modulator by Using Frequency Chirp Modulation
3 . 学会等名 SPIE Photonics West, OPTO (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 R. Nakano, T. Kawai, and A. Enokihara
2 . 発表標題 Microstrip Rat-Race Circuit Utilizing Composite Right-/Left-Handed Transmission Lines without Chip Elements
3 . 学会等名 Thailand-Japan Microwave (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Haoka, T. Kawai, and A. Enokihara
2 . 発表標題 Broadband Branch-Line Coupler Utilizing Open-Circuited Coupled-Transmission Lines at X-Band
3 . 学会等名 Korea-Japan Microwave Workshop (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 前田直樹, 中村亮太, 河合 正, 榎原 晃, 山本直克, 川西哲也
2. 発表標題 マイクロ波分配回路一体型チャープ光変調器による光周波数コム信号発生の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会マイクロ波ミリ波フォトニクス研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河合正, 榎原晃
2. 発表標題 K帯広帯域ブランチラインカプラの設計
3. 学会等名 平成29年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石田三千雄, 國廣良太, 河合 正, 榎原 晃, 柳澤 幸樹, 諏訪部豊, 山本直克
2. 発表標題 平行結合3線路による共振器電極を用いた電気光学変調器
3. 学会等名 電子情報通信学会マイクロ波ミリ波フォトニクス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柏木悠汰, 高瀬孔佑, 河合 正, 榎原 晃, 瀧澤由佳子, 山本直克, 川西哲也
2. 発表標題 3次相互変調歪補償のためのDPMZM構成におけるマイクロ波分配回路一体化の検討
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高瀬孔佑, 柏木悠汰, 河合正, 榎原晃, 瀧澤由佳子, 山本直克, 川西哲也
2. 発表標題 デュアルパラレル型電気光学変調器による3次相互変調歪補償の検討
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第38回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中大智・河合 正・榎原 晃
2. 発表標題 CRLH線路を用いた20GHz帯CPW形ラットレース回路の設計
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 雪永智大、河合 正、佐藤 孝憲、榎原 晃、山本 直克、川西 哲也
2. 発表標題 120°位相差信号による電気光学SSB変調器の隣接不要側波帯の抑圧
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平井 杏奈、佐藤 孝憲、河合 正、榎原 晃、中島慎也、山本 直克
2. 発表標題 Ti拡散LiNbO3を用いたMMI光導波路の作製と光変調素子への応用の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Kawai, Y. Haoka, and A. Enokihara
2. 発表標題 28GHz-Band Broadband Branch-Line Coupler Utilizing Open-Circuited Coupled transmission lines as External Matching Networks
3. 学会等名 Smart City Symposium 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羽岡侑哉, 河合正, 榎原晃
2. 発表標題 終端開放結合線路を用いた任意電力分配比のX帯広帯域ブランチラインカプラ
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 榎原 晃、川西 哲也	4. 発行年 2019年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 200
3. 書名 フォトニクスの基礎	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----