

令和 4 年 5 月 13 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K11997

研究課題名(和文)高性能・広帯域な光集積回路設計のための製造容易性を考慮した自動最適設計システム

研究課題名(英文)Optimum design method of high-performance and wide-band optical integrated circuits

研究代表者

安井 崇 (Yasui, Takashi)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：20403438

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では以下の2つの成果を得た。一つ目は、弱導波光導波路型4x4多モード干渉(MMI)カップラを使用した光90度ハイブリッドの自動最適設計手法の開発である。石英光導波路を使用した素子の設計を行い、実用的な技術要件を満たす光90度ハイブリッドの実現が可能であることを示した。また、本最適化手法は並列計算環境で実行され、計算機5台使用時の並列化効率として0.78を達成している。

二つ目は、柱赤外域で動作するチャンネル型カルコゲナイドガラス光導波路の単一モード動作条件の解明である。アストロフォトニクスにおける高性能な光集積回路の構成要素として有望視されているが、未解明だった導波特性を初めて明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

1. 光90度ハイブリッドは次世代の超高速光通信システムの実現に不可欠な光回路素子である。これを石英光導波路型4x4多モード干渉(MMI)カップラで実現することで、シンプルかつ安価な素子の実現が期待できるがその設計は困難であった。本研究成果によって、実用的な性能を持つその設計が可能であることを示した。
2. 天文学の分野で光集積回路を活用した高解像度な観測が行われ始め、より高性能な光集積回路の設計の必要性が高まっている。本研究ではその設計の基本となる光導波路の伝送特性を解明した。この情報は観測天文学の発展に有益であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, the following two results were achieved. First, an optimal design method based on real-coded micro-genetic algorithm for weakly-guided 4x4 multimode interference (MMI) coupler as an optical 90-degree hybrid. The results show that an optical 90-degree hybrid based on weakly-guided 4x4 MMI that satisfies typical system requirements can be realized. The optimization system was executed in a parallel computation system. Its parallel efficiency of an optimization process was 0.78. Second, single-mode conditions of chalcogenide glass channel waveguide for astrophonic device, which are operated in the mid-infrared spectra range, were investigated in detail. The results numerically show that single-mode operations across the astronomical N-band can be realized, for the first time.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：光集積回路 最適設計 数値解析 ビーム伝搬法 有限要素法

1. 研究開始当初の背景

光ファイバ通信システムは今日の高度情報化社会に不可欠なインフラであり、そのさらなる大容量化の実現が急務となっている。だが、現在実用化されている強度変調・直接検波 (IMDD) 方式は限界に達しておりデジタルコヒーレント伝送など新しい方式の通信システムの実現に向けて活発な研究がなされている。

光 90 度ハイブリッドはデジタルコヒーレント伝送方式の受信器を構成する重要な素子のひとつである。特に、この光 90 度ハイブリッドを石英光導波路による 4 × 4 多モード干渉 (MMI) カプラで実現することが素子のコストなどの点から期待されている。だが、光波の閉じ込めが弱い石英光導波路を用いて広帯域・高性能な MMI カプラの設計は困難であることが知られている。

2. 研究の目的

光波の閉じ込めが弱い構造の光導波路を用いて広い帯域で高い性能を実現できる MMI カプラ型素子の設計方法を確立する。具体的に、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた構造最適化を用いることで目的の性能を実現する構造を探索する自動最適設計法の実現を目的とする。

3. 研究の方法

最適化手法である GA には、個体の遺伝子を実数値ベクトルで表現する実数型 GA と、集団内の個体の数が少ない  $\mu$  (マイクロ) GA を組み合わせた GA を使用する。また、各個体の適応度の評価に必要な電磁界解析にはビーム伝搬法を使用する。

4. 研究成果

(1) 図 1 に示す 4 × 4 MMI カプラ型光ハイブリッド 90 度の構造最適化を行った。構造最適化には実数型  $\mu$  GA を使用し、GA 内で行う固体の適応度を評価するための電磁界解析には 2 次元有限要素ビーム伝搬法を使用した。C 帯とよばれる光通信でよく用いられる波長帯を含む波長 1520 ~ 1580nm の帯域において光 90 度ハイブリッドの典型的な性能要件である 20dB 以上の同相モード除去比 (CMRR) と  $\pm 5$  度未満の位相誤差を達成する構造の探索を目的として構造最適化を行った。その結果、図 2 に示すようにこの波長帯で 28.9dB 以上の CMRR、 $\pm 2.52$  度以下の位相誤差を実現可能な構造を発見した [1]。

一般に GA では多数の固体に対して適応度の評価を行う。本研究課題では適応度を評価するために計算コストが高い電磁界解析を個々の固体に対して行う必要があるため、GA を用いた最適化全体の計算コストが非常に大きくなってしまふ。効率的な最適化を行うために、GA による最適化プロセスの並列・分散処理化も実現している。実際に 5 台の PC を使用することで 3.9 倍 (並列化効率 0.78) の高速化を実現している [1]。

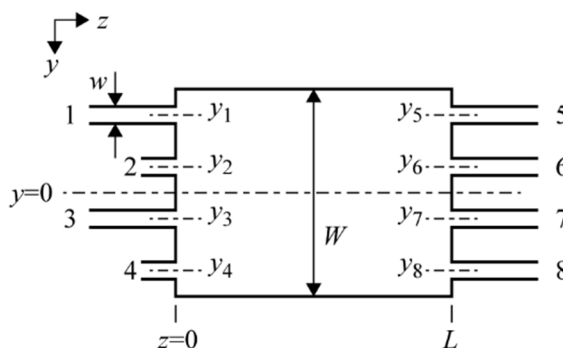


図 1 4 × 4 多モード干渉カプラ型光 90 度ハイブリッド [1]

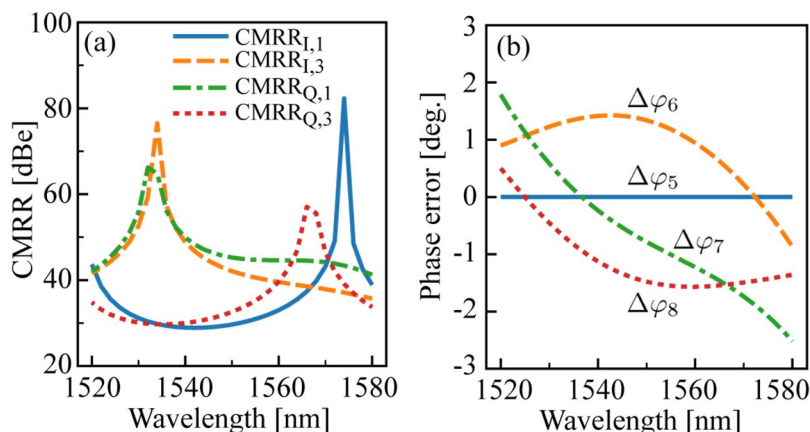


図 2 構造最適化された光 90 度ハイブリッドの動作特性 [1]

(2) 近年、観測天文学の分野でアストロフォトンクスと呼ばれる光集積回路による光学系を使用した観測が注目を集めている。これは、レンズやミラーなどを使用した従来の巨大な光学系の代わりに光集積回路を使用することで小型だけでなく従来の光学系では実現できなかった高度な光波の処理を行うことでより高解像度な観測を行うものである。また、その基本的なアイデアは光ファイバ通信システムで使用されている光集積回路に基づいている。

観測に用いる波長帯として波長 8~12  $\mu\text{m}$  の astronomical N-band と呼ばれる中赤外域を使用する観測が今後期待されており、この波長帯で動作する光集積回路の材料として図 3 に示すようなチャンネル型カルコゲナイド光導波路が有望視されている。また、これに基づいた高性能な光集積回路の実現が望まれている。図 3 の導波路も光の閉じ込めが弱い構造であるため、前述の GA を使用した構造最適設計手法を用いることで高性能な光集積回路を設計できることが期待される。だが、成熟した光ファイバ通信の分野と比較して、この分野での光集積回路設計の歴史は浅く、光集積回路の設計の前段階で必要となる単一モード動作条件すら十分に解明されていない。

そこで、光集積回路を設計するために非常に基本的な情報である単一モード動作条件の調査を行った。その結果、図 4 に示すような分散曲線が得られ、astronomical N-band 全体にわたって偏光に関係なく単一モード動作が可能であることを初めて明らかにした [2]。なおこの評価には、高精度だが計算コストの高い有限要素法(FEM)と簡便な等価屈折率法(EIM)を使用し、いずれの結果もよく一致しており、簡便な EIM での評価でも十分であることも明らかにしている。

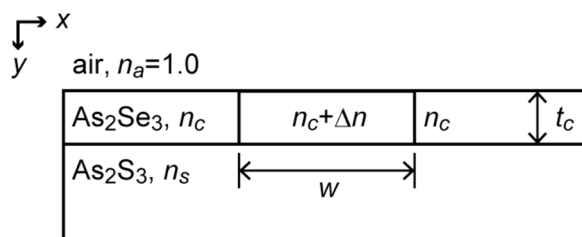


図 3 チャンネル型カルコゲナイドガラス光導波路[2]

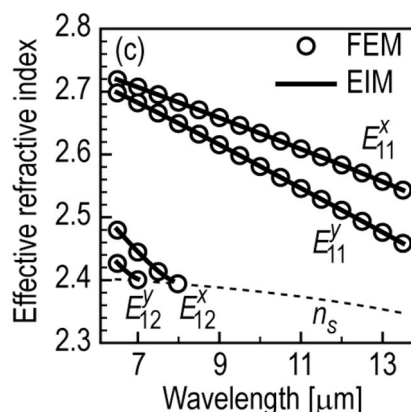


図 4 チャンネル型カルコゲナイドガラス光導波路の分散曲線[2]

< 引用文献 >

[1] T. Yasui, J. Sugisaka, and K. Hirayama, "Structural Optimization of an Optical 90 Degree Hybrid Based on a Weaklyguided 4x4 Multimode Interference Coupler Using a Parallelized Real-coded Micro-genetic Algorithm," ACES J., vol.36, no.5, pp.526-532, 2021.

[2] T. Yasui, J. Sugisaka, and K. Hirayama, "Single-Mode Condition of Chalcogenide Glass Channel Waveguides for Integrated Optical Devices Operated across the Astronomical N-Band," IEICE Trans. Electron., vol.E104-C, no.8, pp.379-385, 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 YASUI Takashi, SUGISAKA Jun-ichiro, HIRAYAMA Koichi	4. 巻 E104.C
2. 論文標題 Single-Mode Condition of Chalcogenide Glass Channel Waveguides for Integrated Optical Devices Operated across the Astronomical &lt;i>&N&lt;/i>-Band	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 386 ~ 389
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transele.2020ECS6023	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 Yasui Takashi, Sugisaka Jun-ichiro, Hirayama Koichi	4. 巻 36
2. 論文標題 Structural Optimization of an Optical 90 Degree Hybrid Based on a Weakly-guided 4x4 Multimode Interference Coupler Using a Parallelized Real-coded Micro-genetic Algorithm	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Computational Electromagnetics Society Journal	6. 最初と最後の頁 526 ~ 532
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.47037/2020.ACES.J.360506	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 安井 崇, 杉坂純一郎, 平山浩一
2. 発表標題 中赤外域用カルコゲナイドガラス光導波路の単一モード動作条件
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 豊栖波輝, 安井 崇, 杉坂純一郎, 平山浩一
2. 発表標題 実数型 $\mu$ GAを用いた弱導波4×4多モード干渉カプラ型光90度ハイブリッドの最適設計
3. 学会等名 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安井 崇, 杉坂純一郎, 平山浩一
2. 発表標題 実数型 $\mu$ GA を用いた光導波路構造最適化の MPI による並列化
3. 学会等名 2019年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 安井 崇, 杉坂純一郎, 平山浩一
2. 発表標題 中赤外光集積回路用カルコゲナイドガラス光導波路の導波特性
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔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
研究 分 担 者	杉坂 純一郎  (Sugisaka Jun-ichiro)  (00599227)	北見工業大学・工学部・准教授   (10106)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------