



| | |
|------------------------|---|
| Title | 波面整合法設計モード制御デバイスに関する研究 [論文内容及び審査の要旨] |
| Author(s) | 澤田, 祐甫 |
| Citation | 北海道大学. 博士(工学) 甲第15078号 |
| Issue Date | 2022-03-24 |
| Doc URL | http://hdl.handle.net/2115/85391 |
| Rights(URL) | https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ |
| Type | theses (doctoral - abstract and summary of review) |
| Additional Information | There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL. |
| File Information | Yusuke_Sawada_review.pdf (審査の要旨) |



[Instructions for use](#)

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 澤田 祐甫

審査担当者 主 査 教 授 齊藤 晋聖
副 査 教 授 大鐘 武雄
副 査 教 授 西村 寿彦

学位論文題名

波面整合法設計モード制御デバイスに関する研究

(A Study on Mode Controlling Devices Designed by Wavefront Matching Method)

世界のインターネットユーザ数や 1 人当たりのネットワークデバイス数は、年々増加しており、データ通信の需要が急増している。その多くはデータセンタが関係し、データセンタ内の通信が 70 % 以上を占めていることから、データセンタ内の通信機器の大容量化・低消費電力化が急務となっている。従来の電気配線は、通信容量や消費電力の観点から限界を迎えつつあり、大容量・低消費電力な光インターコネクト技術への転換が重要である。光インターコネクト技術として、最も有望な技術がシリコンフォトリソグラフィ技術である。シリコン光デバイスは、成熟した CMOS 技術によって低コストで量産可能であることが大きな利点であり、電気回路と光回路の一括集積が実現される。光回路における大容量化を可能とするのが、導波路デバイスによる多重化技術である。現在主流の波長分割多重技術に加え、偏波分割多重技術、モード分割多重技術等が挙げられる。将来必要となるチップレベルの超短距離通信においては、さらなる高密度集積が要求されるため、追加の光源を必要としないモード分割多重技術の利用が有効である。マルチモードシリコンフォトリソグラフィの実現のため、シリコン導波路型のモード合分波器、モード変換器、マルチモード交差、マルチモードパワースプリッタ等、様々なモード制御デバイスが報告されてきた。

モード制御デバイスの多くは、非対称方向性結合器、マルチモード干渉結合器、Y 分岐等の基本的な構造を用いて設計することが可能である。一般的には、所望の特性を得るために、基本構造の寸法を最適化することや基本構造の一部に工夫を加えることが行われる。しかしながら、それぞれの基本構造の特徴から大きな改善や変化は見込めず、小型・低損失動作・広帯域動作等の優れた特徴を有するデバイスを設計するには限界がある。そこで、コアの内部に構造的な自由度を与え、デバイスの高機能化や小型化を追求する研究が盛んに行われている。大規模な計算資源や並列計算技術を利用して、導波路の伝搬解析、事前に準備した評価指標の計算、導波路構造の更新で構成される最適化のプロセスが、十分な性能が得られるまで繰り返される。このような最適化手法の 1 つに波面整合法がある。波面整合法は、コアの外形のみに構造的な自由度を与えて使用されており、コアとクラッドの屈折率差の小さい石英系光導波路デバイスの設計で実績のある最適化手法である。コアの外形のみに構造的な自由度を与えて最適化することは、シリコン光デバイスの大きな利点である量産性の観点からも望ましいといえる。しかしながら、屈折率差の大きなシリコン光導波路デバイスの設計に波面整合法を使用する場合、導波路の伝搬解析にはフルベクトル波解析が必要である。また、屈折率差が大きいため反射が生じやすく、従来のビーム伝搬法に基づく波面整合法では、適用できる構造に制限があった。

そこで本研究では、初めに、様々な形状のシリコン導波路デバイスへ適用可能な新たな波面整合法を開発している。さらに、モード制御デバイスの広帯域設計のために波面整合法を適用するとともに、設計したモード制御デバイスの試作及び測定実験を通して、提案デバイスの有効性を実験的に実証している。

本論文の構成内容は、以下の通りである。

第1章では、本研究の背景及び目的を述べている。

第2章では、本研究の数値解析に用いた、2次元ベクトル有限要素法、導波路不連続問題のための3次元ベクトル有限要素法、3次元ベクトル有限要素ビーム伝搬法の定式化を行っている。

第3章では、導波路不連続問題のための3次元ベクトル有限要素法に基づく波面整合法を開発し、シリコン導波路型のモード変換器の設計を通して、開発した波面整合法の有用性を示している。従来の波面整合法は、解析可能な構造に制限のあるビーム伝搬法に基づいており、適用できる構造が限られていた。開発した波面整合法は、様々な形状のシリコン導波路デバイスの波面整合法設計を可能とするものである。

第4章では、波面整合法設計シリコン導波路型モード変換器の提案を行っている。複数の波長で同時に波面整合法による最適化を行った結果、設計したモード変換器が広帯域に動作することを理論的かつ実験的に示している。また、波面整合法設計シリコン導波路の初めての実験的な実証となった。シリコンチップの作製には、量産性に優れるフォトリソグラフィ技術が使用されており、波面整合法設計シリコン導波路デバイスが産業的な観点からも有用であるといえる。

第5章では、波面整合法設計シリコン導波路型4モード合分波器の提案を行っている。提案した4モード合分波器は、波面整合法で設計した3つの非対称方向性結合器で構成される。複数の波長で同時に波面整合法による最適化を行った結果、設計した非対称方向性結合器が広帯域に動作することを理論的かつ実験的に示している。また、4モード合分波器が広帯域に動作することを実験的に示している。提案した4モード合分波器は、広帯域動作が要求される波長分割多重技術及びモード分割多重技術の併用システムにおいて有用であるといえる。さらに、非対称方向性結合器の一部にテーパー導波路を導入することで、さらなる広帯域化及び低損失化が可能であることを理論的に示している。

第6章では、シリコン導波路デバイスの波面整合法設計において、安定的に高性能な構造を得るための波面整合法の適用方法を考案し、その有用性を示している。波面整合法を用いてモード変換器やモード合分波器等を設計してきたが、初期構造のパラメータによって、十分な性能改善が得られないことや、屈折率分布の更新が収束しないことがあった。その主な原因は、一度の屈折率分布の更新による位相変化量が大きく、波面整合法の理論が成立しない場合が生じることであった。新たに考案した手法は、デバイスの性能達成率に応じて、一度の屈折率分布の更新による位相変化量を制御することで、安定的な波面整合法設計を可能とするものである。

第7章では、任意4モード変換器の提案を行っている。任意4モード変換器は、基本モードの入力に対して、選択的に4つのモードのいずれかに変換して出力するデバイスである。任意4モード変換器の構成要素として、波面整合法設計モード変換器が含まれている。任意4モード変換器については、理論的な実証まで行っている。

第8章では、本研究により得られた結論をまとめている。

これを要するに、著者は、モード分割多重伝送のための広帯域動作するモード制御デバイスを実現することを目的として、シリコン導波路デバイスに適用可能な波面整合法を新たに開発するとともに、この波面整合法を駆使して、広帯域動作するモード変換器、およびモード合分波器が実現可能であることを理論的、かつ実験的に明らかにしており、情報通信フォトニクスに関する学術分野に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。