

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04286

研究課題名（和文）導波路型光スイッチの高性能化・大規模化の研究

研究課題名（英文）Study on high performance and large port count waveguide-based optical switches

研究代表者

渡邊 俊夫（Watanabe, Toshio）

鹿児島大学・理工学域工学系・准教授

研究者番号：90524124

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：光ファイバー通信システムで用いられる導波路型光スイッチの光回路設計を検討した。1×N位相アレイ型光スイッチにおける各アレイ導波路への光パワー分配比を、従来のガウス分布とは異なる窓関数に設定することにより、50 dBの高消光比が得られることをシミュレーションにより示した。また、複合干渉計型光スイッチについて、動作波長範囲を拡大し、出力ポート数を拡張するための回路構成を明らかにした。これにより、大規模な光スイッチの光回路設計を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光ファイバー通信システムにおいて、光信号を電気信号に変換することなく、その経路を切り替えるために光スイッチが用いられる。本研究では、光スイッチの中でも、小型集積化が可能で、量産性に優れるという特長をもつ導波路型光スイッチについて、新規な光回路の構成を示した。回路の設定をわずかに変えることで、光スイッチの性能が大きく向上することがわかった。こうした高性能で大規模な光スイッチは、光ファイバー通信ネットワークやデータセンター内ネットワークにおいて有用である。

研究成果の概要（英文）：We examined circuit designs of waveguide-based optical switches used in optical fiber communication systems. In a 1×N phased-array optical switch, we employ window functions other than conventional Gaussian for optical power ratio between arrayed-waveguides, which gives an extinction ratio as high as 50 dB in simulation. In a nested interferometer optical switch, we show its circuit configuration to expand operational wavelength range and increase output port counts. These results show that we successfully establish the optical circuit design of large port count optical switches.

研究分野：光ファイバー通信システム、光波工学

キーワード：光スイッチ 光導波路 光回路 位相アレイ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

光ファイバー通信ネットワークでは、光信号を電気信号に変換することなく、その経路を切り替えるための光スイッチが必要である。光スイッチには様々な型式のものがあるが、なかでも導波路型光スイッチは、小型集積化が可能で、量産性に優れるという特長を持っている。一般に、導波路型光スイッチは、複数の光スイッチ素子を集積化して構成される。その光スイッチ素子として、従来、 $1 \times 2$  (1入力2出力) のマッハ-ツェンダー干渉計型のものが用いられてきた。 $1$ つの基板上に $1 \times 2$ の光スイッチ素子を多数接続して配置することで、 $1 \times N$ 、または $N \times N$  ( $N$ は、 $N > 2$ の整数) の光スイッチを構成することができる。

近年では、光ファイバー通信ネットワークの発展やデータセンター内ネットワークの進展に伴い、光スイッチの入出力ポート数の大規模化が求められている。導波路型光スイッチの入出力ポート数の規模を拡大するには、より多数の光スイッチ素子を集積化する必要があるが、 $1 \times 2$ の光スイッチ素子の代わりに $1 \times N$ の光スイッチ素子を用いれば、少ない素子数で大規模な光スイッチを構成することができる。 $1 \times N$ の光スイッチ素子として、位相アレイ型光スイッチ素子が知られている。しかし、これまでに報告されている位相アレイ型光スイッチ素子は消光比が20-30 dB程度であり、実用的な光スイッチとしては通常40 dB程度の消光比が要求されるのに対して、特性が不十分であった。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究は、光スイッチの大規模化に有効な $1 \times N$ 位相アレイ型光スイッチ素子において、従来不十分であった消光特性を向上し、それを用いた大規模な光スイッチの光回路設計を確立することを目的としている。

(2) また、本研究では、位相アレイ型光スイッチ素子と同様に、並列に配置された位相シフタ群で構成される複合干渉計型光スイッチ素子についても検討を行った。従来の複合干渉計型光スイッチ素子は、広い波長範囲で高い消光比を得ることは困難であるという課題があった。そこで、本研究では、複合干渉計型光スイッチ素子の動作波長範囲を拡大することを目的とした。

### 3. 研究の方法

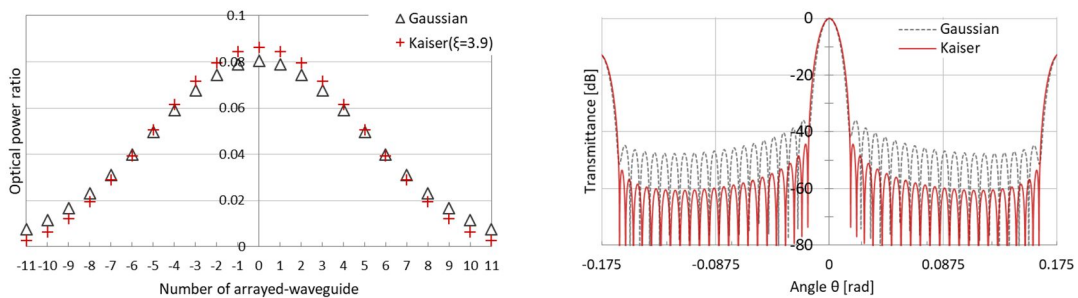
(1) 従来の $1 \times N$ 位相アレイ型光スイッチ素子において、各アレイ導波路への光パワー分配比はフラウンホーファー回折によるガウス分布であることが前提とされていた。本研究では、光パワー分配比をガウス分布とは異なる分布に設定することにより、40 dB以上の消光比が得られるかどうかをシミュレーションにより検討した。

(2) 従来の複合干渉計型光スイッチ素子は、方向性結合器の結合率や位相シフタの光路長差に波長依存性があるため、広い波長範囲で高い消光比を得ることは困難であった。本研究

では、線対称に配置した位相生成カプラを用いることにより、動作波長範囲を拡大できるかどうかをシミュレーションにより検討した。

#### 4. 研究成果

(1)  $1 \times N$  位相アレイ型光スイッチ素子において、各アレイ導波路への光パワー分配比の設定に各種の窓関数( ブラックマン窓、ブラックマン-ナットール窓、ブラックマン-ハリス窓、カイザー窓 )を適用することを検討した。シミュレーションの結果、図 1 に示すように、カ



イザー窓を用いた場合には、サイドローブによるクロストークをガウス分布に比べて 10 dB 以上低減し、50 dB 以上の消光比が得られることを明らかにした (参考文献 )。

図 1  $1 \times N$  位相アレイ型光スイッチの光パワー分配比 (左) と出力光パワー (右)

(2)  $1 \times N$  位相アレイ型光スイッチ素子の消光特性は、これまで出力側スラブ光導波路の出力端における光分布を計算することでクロストークを評価してきた。それに対して、従来に比べて簡易に、各出力光導波路へのクロストークを評価できる計算方法を導出した (参考文献 )。

(3)  $M$  段の複合干渉計型光スイッチ素子において、 $2^M$  本の出力ポートのうち特定のポートのみを使用することにより、高い消光特性が得られることを示した (参考文献 )。

(4) 複合干渉計型光スイッチ素子において、線対称に配置した位相生成カプラを用いた回路構成を検討した。シミュレーションの結果、図 2 に示すように、1450 nm から 1650 nm にわたる広い波長範囲において 40 dB 以上の消光比が得られることを明らかにした (参考文献 )。

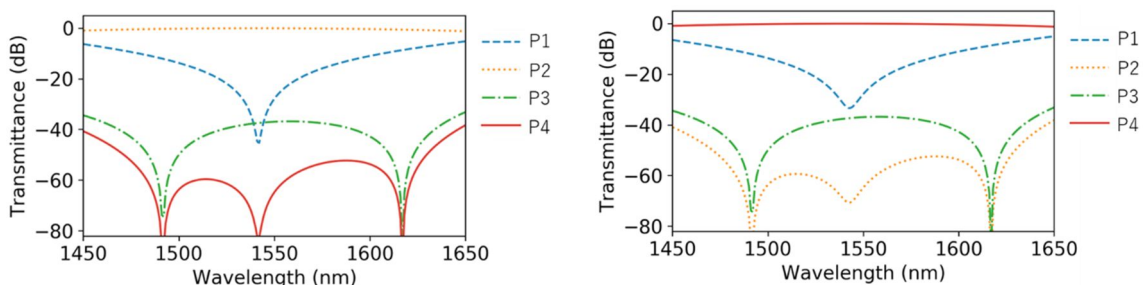


図 2 複合干渉計型光スイッチの透過率の波長依存性

## 参考文献

S. Shimada, T. Watanabe, T. Nagayama, and S. Fukushima, "Design of arrayed-waveguide optical switch employing window function for crosstalk reduction," Jpn. J. Appl. Phys., vol. 58, no. SJ, SJJ03, Aug. 2019.

渡邊 俊夫, 嶋田 周平, 永山 務, 福島 誠治, "アレイ光導波路型光スイッチにおけるクロストークの計算方法," 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学, 20p-PA6-4, p. 03-589, Sept. 2019.

K. Tasaki, M. Tokumaru, T. Watanabe, T. Nagayama, and S. Fukushima, "Nested Mach-Zehnder interferometer optical switch with phase generating couplers," Jpn. J. Appl. Phys., vol. 59, no. S0, S00B04, Aug. 2020.

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 2件）

1. 著者名 Shimada Shuhei, Watanabe Toshio, Nagayama Tsutomu, Fukushima Seiji	4. 巻 58
2. 論文標題 Design of arrayed-waveguide optical switch employing window function for crosstalk reduction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SJJB03 ~ SJJB03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab27b1	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 -

1. 著者名 Tasaki Kohei, Tokumaru Mitsuru, Watanabe Toshio, Nagayama Tsutomu, Fukushima Seiji	4. 巻 59
2. 論文標題 Nested Mach-Zehnder interferometer optical switch with phase generating couplers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 S00B04 ~ S00B04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab8f09	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5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 田崎 公平、渡邊 俊夫、永山 務、福島 誠治
2. 発表標題 位相生成カプラを線対称に配置した複合干渉計型光スイッチ
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Shimada, T. Watanabe, T. Nagayama, S. Fukushima
2. 発表標題 Design of arrayed-waveguide optical switch employing window function
3. 学会等名 23rd Microoptics Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 嶋田 周平、渡邊 俊夫、永山 務、福島 誠治
2. 発表標題 窓関数を用いたアレイ光導波路型光スイッチのクロストーク低減
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊 俊夫、嶋田 周平、永山 務、福島 誠治
2. 発表標題 アレイ光導波路型光スイッチにおけるクロストークの計算方法
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊 俊夫
2. 発表標題 光通信ネットワーク用光スイッチの設計技術
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2021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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------