

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年3月31日現在

機関番号：32612

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656087

研究課題名（和文） 多中継光ノード用超高分解能光スペクトル制御回路の研究

研究課題名（英文） A study on a high-resolution optical spectrum control circuit for multi-hop optical nodes

研究代表者

津田 裕之 (TSUDA HIROYUKI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：90327677

研究成果の概要（和文）：

本研究で提案するAWGを用いた光スペクトル制御器は、平坦な損失特性が得られ、任意の位相／振幅透過スペクトルを実現できる。AWGは、FSR 150GHz、制御帯域幅 100GHz、アレイ導波路を構成する導波路45本、位相シフタ付きチャンネル導波路90本とした。チップサイズは72.3 mm×31.4 mmである。中心波長における損失は7.2 dB、周辺波長における損失は9.4dBと良好な透過特性を得た。また、最大-1200 ps/nmまでの群遅延特性を得ることが出来た。

研究成果の概要（英文）：

The optical spectrum control circuit using an arrayed-waveguide grating (AWG), which is proposed in this paper, has flat spectral response and can control both spectral phase and amplitude of optical signal. The AWG had a free spectral range (FSR) of 100 GHz, 45 waveguides in the waveguide array, and 90 channel waveguides with a phase shifter. The chip size was 72.3 mm x 31.4 mm. The insertion losses at the center frequency and at the outer end frequency were 7.2 dB and 9.4 dB, respectively. It could control the chromatic dispersion up to -1200 ps/nm.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	0	1,000,000
2011年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	630,000	3,730,000

研究分野：光機能デバイス、フォトニックネットワーク

科研費の分科・細目：電気電子工学、通信・ネットワーク工学

キーワード：アレイ導波路回折格子、時空間変換光信号処理、光導波路、帯域抑圧伝送方式、光スペクトル制御回路、可変分散補償回路

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、アレイ導波路回折格子 (AWG: Arrayed-waveguide grating) を利用する光信号処理回路に関する研究を進め、

導波路型可変分散補償回路、光符号分割多重回路、光パルスシンセサイザ等の試作、システム検証等を実施してきた。これらの研究を進める中で、光信号スペクトルの位相と振幅

を任意に変調できる AWG 型光スペクトル制御回路の構成を考案した。例えば、チャンネル間隔 100GHz の WDM 光信号を 40 分割し、2.5GHz 毎に位相と振幅を制御することが可能である。

2. 研究の目的

光ネットワークの中継光ノードにある波長選択光スイッチ、AWG の多段接続による光信号スペクトルの狭窄化によって、光信号の最大ホップ数が制限され、ネットワーク構成の柔軟性が大きく犠牲になっている。また、光ノードにおける消費電力を低減するために、電気信号処理の軽量化を可能とする光段での高度な信号処理が求められている。これらの課題を解決するために、数 GHz の分解能で光信号スペクトルの位相と振幅を任意に制御できる光スペクトル制御回路を実現することを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

本研究で設計、試作、光通信への適用を行う、光スペクトル制御回路の構成を図 1 に示す。

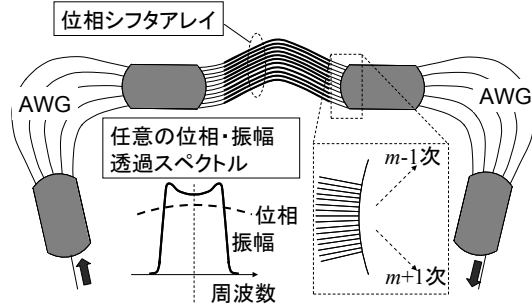


図 1 : 光スペクトル制御回路の構成

各年度の研究内容を以下に示す。

H22 年度実施内容 :

- ・チャンネルスラブ導波路間断熱的モード変換部の低損失設計法の確立
- ・任意の位相・振幅透過スペクトルを得るための位相シフタアレイ駆動方法の確立
- ・原理確認用チャンネル間隔 5GHz 級小型光スペクトル制御回路の試作と評価

H23 年度実施内容 :

- ・チャンネル間隔 2.5GHz 級光スペクトル制御回路の設計、試作と評価
- ・40Gbps-DQPSK 信号の多中継波形制御実験による光スペクトル制御有効性の確認
- ・固定用途光スペクトル制御回路の設計と試作

4. 研究成果

(1) 光スペクトル制御回路第 1 次試作

表 1 には、設計したチャンネル型光スペクトル制御回路のパラメータを示す。本設計の回路の透過特性シミュレーションを行った。具

体例として、帯域可変フィルタ特性を図 2 に示す。帯域幅を 2GHz~90GHz まで変えている。箱形の透過特性を得るために 2dB の損失を許容している。

表 1 : スペクトル制御回路のパラメータ

Parameter [Unit]	Value
Relative refractive index difference [%]	1.5
Center frequency [THz]	193.35
Free spectral range [GHz]	150
Number of waveguides in the AWG	45
Number of channel waveguides	90
Pitch of the waveguides in the AWG [μm]	15.5
Pitch of the channel waveguides [μm]	7.5
Length of the 1st slab waveguide [μm]	3830
Length of the 2nd slab waveguide [μm]	9832
Path length difference [μm]	1374
Diffraction order	1289
Number of tunable phase shifters	64
Length of each tunable phase shifter [μm]	2500
Control frequency range [GHz]	100

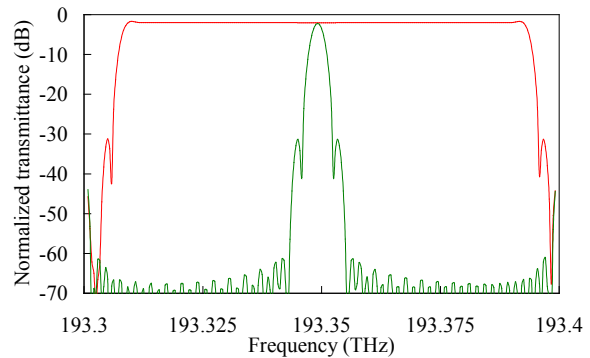


図 2 : 可変帯域動作シミュレーション

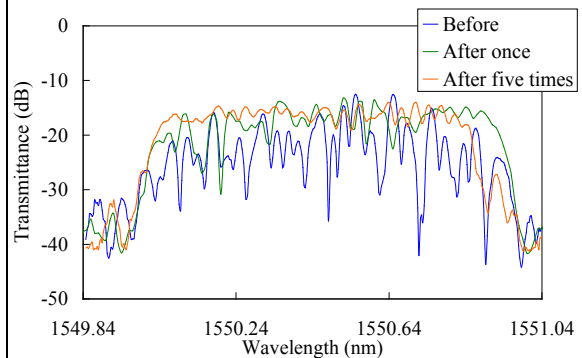


図 3 : 光スペクトル制御回路の透過特性

表1の設計に基づいて、光スペクトル制御回路を試作した。光スペクトル制御回路の透過特性を図3に示す。位相シフタを制御して透過率を測定、フィードバックして平坦化を試みた結果であるが、リップルが比較的大きくなり、不十分な結果であった。

(2) 光スペクトル制御回路第2次試作

第1次試作結果を検討した結果、プロセスの不具合により隣接導波路間結合が大きくなったこと、及び、ある周波数の信号光が11本以上の位相シフタ導波路に結合しているため、位相制御が複雑になり平坦な透過スペクトルが得られなかったことが判明した。第2次試作では、アレイ導波路とスラブ導波路の結合部の再設計を行い、不具合を解消した。レイアウト図を図4に示す。

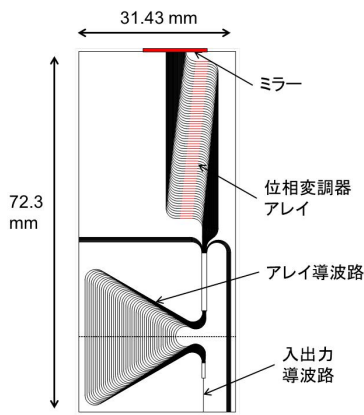


図4：光スペクトル制御回路レイアウト

図5に、第2次試作光スペクトル制御回路の透過特性を示す。

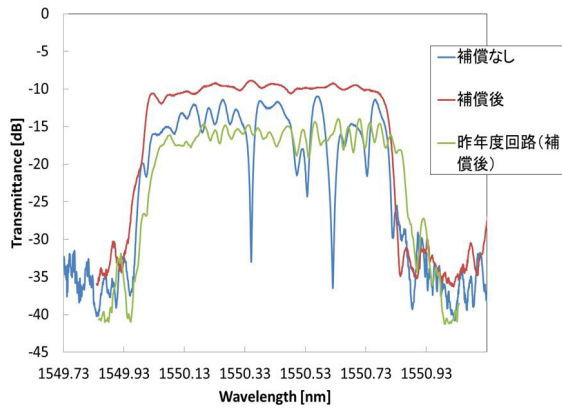


図5：第2次試作デバイスの透過特性

昨年度よりも、損失が低減し、中心波長において、7.2 dB、周辺波長において 9.4 dB となっている。また、位相誤差補償後の透過スペクトルの平坦性も向上している。また、中心波長近傍に対応する光の位相を制御してバンドリジ렉션フィルタ特性を実現

した。この結果を図6に示す。

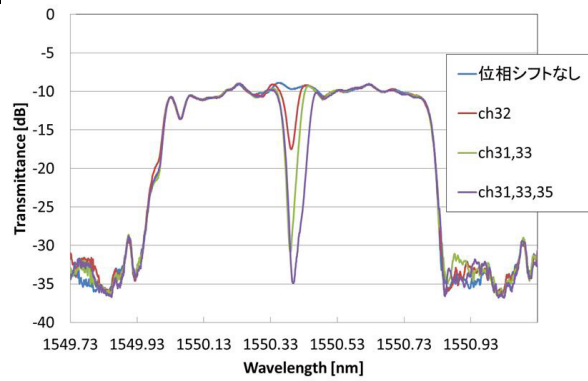


図6：バンドリジ렉션フィルタ特性

また、光スペクトル制御回路は、分散補償回路としても機能させることができる。図7に-300 ps/nm、図8に-1200 ps/nmの分散を持つように設定した場合の群遅延特性及び透過スペクトルを示す。透過帯域外の透過率が十分に抑圧されていないが、今後、精密な位相制御を行うことによって透過特性は改善できると考えている。

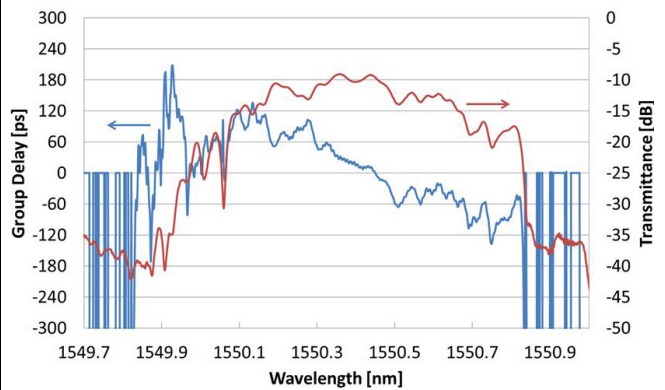


図7：分散制御（分散値 -300 ps/nm）

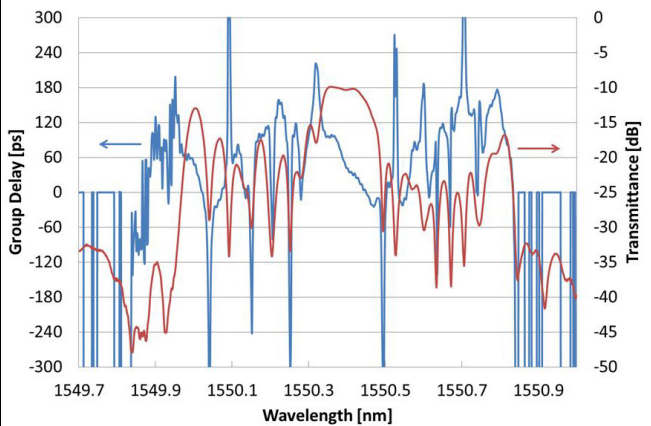


図8：分散制御（分散値 -1200 ps/nm）

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

① Yuichiro Ikuma, Takayuki Mizuno, Hiroshi Takahashi, and Hiroyuki Tsuda, “Tunable Optical Dispersion Compensator with a High-Resolution Arrayed-Waveguide Grating,” IEICE Electron. Express, 査読有り、Vol. 8, No. 24, pp. 2087-2092(2011).

② Yuichiro Ikuma, Takayuki Mizuno, Hiroshi Takahashi, and Hiroyuki Tsuda, “Circulator-Free Reflection-Type Tunable Optical Dispersion Compensator Using Tandem Arrayed-Waveguide Gratings,” IEEE J. Lightwave Technol., 査読有り、Vol. 29, No. 16, pp. 2447-2453(2011).

③ Koichi Kato, Yuichiro Ikuma, Hiroshi Takahashi, Takayuki Mizuno, and Hiroyuki Tsuda, “Optical spectrum control circuit using an arrayed-waveguide grating and tunable phase shifters,” IEICE Electron. Express, 査読有り、Vol. 8, No. 6, pp. 391-396(2011).

[学会発表] (計4件)

①伊熊、水野、高橋、津田、「高分散時の狭帯域化を抑制したアレイ導波路回折格子型可変分散補償器の作製」、2011年電子情報通信学会ソサイエティ大会、C-3-10、北海道大学、北海道、2011年9月13日。

②池田、加藤、伊熊、高橋、水野、津田、「高分解能光スペクトル制御回路と帯域制限伝送方式への適用の検討」、レーザ・量子エレクトロニクス研究会、LQE2011-4、金沢大学、2011年5月20日。

③ K. Kato, Y. Ikuma, H. Takahashi, T. Mizuno, and H. Tsuda, “Phase and Amplitude Spectrum Control Circuit Using an Arrayed-Waveguide Grating and Tunable Phase Shifters,” 16th Microoptics Conference, WP17, Oct. 31, Hsinchu, Taiwan, (2010).

④ Y. Ikuma, T. Mizuno, H. Takahashi, and H. Tsuda, “Circulator-Free Reflection-Type Tunable Optical Dispersion Compensator Using Cascaded Arrayed-Waveguide Gratings,” 36th European Conference and Exhibition on Optical Communication, We. 8. E. 7, Sep. 19, Torino, Italy (2010).

[産業財産権]

○出願状況 (計6件)

①名称：波長選択スイッチ

発明者：伊熊、津田、高橋、水野

権利者：日本電信電話(株)、学校法人慶應義塾

種類：特許

番号：特願2011-238703

出願年月日：平成23年10月31日

国内外の別：国内

②名称：波長選択スイッチ

発明者：伊熊、津田、高橋、水野

権利者：日本電信電話(株)、学校法人慶應義塾

種類：特許

番号：特願2011-238702

出願年月日：平成23年10月31日

国内外の別：国内

③名称：アレイ導波路回折格子型分散補償器

発明者：伊熊、津田、高橋、水野

権利者：日本電信電話(株)、学校法人慶應義塾

種類：特許

番号：特願2011-163569

出願年月日：平成23年7月26日

国内外の別：国内

④名称：光分散補償器

発明者：伊熊、津田、高橋、水野

権利者：日本電信電話(株)、学校法人慶應義塾

種類：特許

番号：特願2011-163567

出願年月日：平成23年7月26日

国内外の別：国内

⑤名称：広帯域分散補償回路

発明者：伊熊、津田、高橋、水野

権利者：日本電信電話(株)、学校法人慶應義塾

種類：特許

番号：特願2011-163555

出願年月日：平成23年7月26日

国内外の別：国内

⑥名称：導波路型波長分散補償回路

発明者：伊熊、津田、高橋、水野

権利者：日本電信電話(株)、学校法人慶應義塾

種類：特許

番号：特願2010-145010

出願年月日：平成22年6月25日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

津田 裕之 (TSUDA HIROYUKI)
慶應義塾大学・理工学部・教授
研究者番号：90327677

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし