

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2009-522595  
(P2009-522595A)

(43) 公表日 平成21年6月11日(2009.6.11)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO2F 1/01 (2006.01)</b>	GO2F 1/01 C	2H079
<b>GO2B 6/12 (2006.01)</b>	GO2B 6/12 F	2H147

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2008-548484 (P2008-548484)  
 (86) (22) 出願日 平成17年12月29日 (2005.12.29)  
 (85) 翻訳文提出日 平成20年8月26日 (2008.8.26)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2005/047513  
 (87) 国際公開番号 W02007/075175  
 (87) 国際公開日 平成19年7月5日 (2007.7.5)

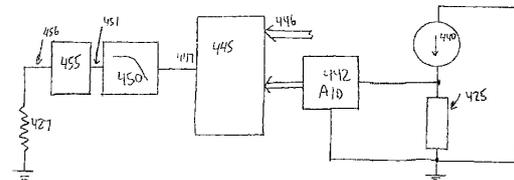
(71) 出願人 500030666  
 ネオフォトニクス・コーポレーション  
 Neophotonics Corporation  
 アメリカ合衆国95134カリフォルニア  
 州サンノゼ、ザンカー・ロード2911番  
 (74) 代理人 100117606  
 弁理士 安部 誠  
 (74) 代理人 100136423  
 弁理士 大井 道子  
 (74) 代理人 100115510  
 弁理士 手島 勝

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学部品の熱制御

(57) 【要約】

能動的な温度調整を用いて、光集積回路(455)の1つ又は複数の光学素子の温度を安定させるために、光集積回路の線形化された熱及び光学モデルを用いることができる。アレイ導波回折格子(AWG)のような単一の光学素子を安定させるために、回折格子に近接して、温度センサ(425)及びヒータ(427)を配備することができる。その後、熱係数及び光学係数を用いて、センサから読み値を受信し且つヒータにおいて散逸される電力を求める温度コントローラ(400)に適した温度設定点を選択することができる。クロスヒーティング要因を他の環境的な要因と共に一纏めにして、複数のAWGを個別に安定させることができる。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

集積光デバイスであって、

光学部品であって、該光学部品の温度の関数である光波長応答を有する、光学部品と、前記光学部品の温度上昇を引き起こすことができるように前記光学部品に近接して配置される加熱素子と、

温度検知素子であって、該温度検知素子は、該温度検知素子の場所において温度指示を生成することができ、前記加熱素子によって前記場所において引き起こされる温度上昇は、前記加熱素子によって該光デバイスの少なくとも 1 つの領域において引き起こされる対応する温度上昇よりも高い、温度検知素子と、

10

前記加熱素子及び前記温度検知素子に結合される温度コントローラであって、前記温度指示を受信し、前記温度検知素子から受信された該温度指示に基づいて前記加熱素子において散逸される電力を設定し、それによって、前記光波長応答を所定の波長まで変化させる、温度コントローラとを備える、集積光デバイス。

## 【請求項 2】

前記光デバイスの安定した熱状態中に前記温度検知素子によって生成される温度指示は、前記加熱素子において散逸される前記電力の第 1 の実質的に線形な関数として変化し、

安定した熱状態中の前記光学部品の実効温度は、前記加熱素子において散逸される前記電力の第 2 の実質的に線形な関数として変化し、請求項 1 に記載の集積光デバイス。

20

## 【請求項 3】

前記光学部品は、相互に等しくない長さの複数の光路を含む干渉光学フィルタを含む、請求項 2 に記載の集積光デバイス。

## 【請求項 4】

前記干渉光学フィルタはアレイ導波回折格子を含む、請求項 3 に記載の集積光デバイス

。

## 【請求項 5】

前記加熱素子は有効なパターン化されたヒータを包含する、請求項 4 に記載の集積光デバイス。

## 【請求項 6】

前記温度検知素子は抵抗温度デバイスを包含する、請求項 5 に記載の集積光デバイス。

30

## 【請求項 7】

前記温度コントローラは、前記加熱素子において散逸される前記電力の反復調整を実行し、前記光波長応答を前記所定の波長まで変化させる、請求項 4 に記載の集積光デバイス

。

## 【請求項 8】

前記第 1 の実質的に線形な関数は、前記加熱素子において前記電力が散逸されることに伴う、前記温度指示の増加率である第 1 の熱定数 ( $d T_r / d W$ ) によって特徴付けられ、

前記第 2 の実質的に線形な関数は、前記加熱素子において前記電力が散逸されることに伴う、前記光波長応答の変化率である第 2 の熱定数 ( $d T / d W$ ) によって特徴付けられ、

40

前記温度コントローラは、( i ) 第 1 の周期中に前記温度検知素子から受信される 1 つ又は複数の温度指示、( i i ) 前記第 1 の周期中に前記加熱素子によって散逸される前記電力、及び( i i i ) 前記第 1 の熱定数、に基づいて前記第 1 の周期中の前記光学部品の全体温度 ( $T_o$ ) を推定することができ、

前記光学部品の前記光波長応答は、前記光学部品の第 1 の実効温度において、前記所定の波長に実質的に等しく、

前記温度コントローラは、

前記第 1 の実効温度と、前記第 1 の周期中の前記光学部品の前記全体温度の前記推定値との差を計算すること、

50

前記第 2 の熱定数に対する前記第 1 の熱定数の比を計算すること、  
前記差と前記比との積を計算すること、及び

前記第 1 の周期中の前記光学部品の前記全体温度の前記推定値に前記積を加算して、  
前記温度コントローラが前記第 1 の周期後の第 2 の周期中に前記温度検知素子の温度指示  
を変化させる設定点を得ることによって、該設定点を求めることができる、請求項 4 に記  
載の集積光デバイス。

【請求項 9】

前記第 1 の周期の持続時間は、実質的に、前記加熱素子において散逸される前記電力の  
変化の、前記光波長応答の変化への伝播を特徴付ける熱時定数である、請求項 8 に記載の  
集積光デバイス。

10

【請求項 10】

前記第 1 の周期の持続時間は、前記加熱素子において散逸される前記電力の変化の、前  
記光波長応答の変化への伝播を特徴付ける熱時定数よりも長い、請求項 8 に記載の集積光  
デバイス。

【請求項 11】

前記加熱素子は、該加熱素子によって散逸される前記電力の実質的に全てを散逸するヒ  
ータ能動部を含み、

前記温度検知素子は、温度の関数として変化する抵抗を有するセンサ能動部を含み、

前記ヒータ能動部及び前記センサ能動部は同じ材料から形成される、請求項 4 に記載の  
集積光デバイス。

20

【請求項 12】

前記温度検知素子は、前記アレイ導波回折格子上に配置される第 1 のパターン化された  
導電性薄膜を含む、請求項 4 に記載の集積光デバイス。

【請求項 13】

前記加熱素子は、前記アレイ導波回折格子上に配置される第 2 のパターン化された導電  
性薄膜を含む、請求項 12 に記載の集積光デバイス。

【請求項 14】

前記加熱素子は、前記アレイ導波回折格子上に配置されるパターン化された導電性薄膜  
を含む、請求項 4 に記載の集積光デバイス。

【請求項 15】

前記温度コントローラは設定点を決定することができ、前記温度コントローラは、アナ  
ログ処理を用いて、前記温度検知素子の温度指示を該設定点まで変化させる、請求項 4 に  
記載の集積光デバイス。

30

【請求項 16】

集積光デバイスであって、

第 1 の光学部品であって、該第 1 の光学部品の温度の関数である第 1 の光波長応答を有  
する、第 1 の光学部品と、

前記第 1 の光学部品の温度上昇を引き起こすことができるように前記第 1 の光学部品に  
近接して配置される第 1 の加熱素子と、

第 1 の温度検知素子であって、該第 1 の温度検知素子は、該第 1 の温度検知素子の第 1  
の場所において温度指示を生成することができ、前記第 1 の加熱素子によって前記第 1 の  
場所において引き起こされる温度上昇は、該光デバイスの前記第 1 の場所から離れている  
第 1 の領域において前記加熱素子によって引き起こされる対応する温度上昇よりも高い、  
第 1 の温度検知素子と、

40

前記第 1 の加熱素子及び前記第 1 の温度検知素子に結合される第 1 の温度コントローラ  
であって、前記第 1 の温度検知素子から前記温度指示を受信し、該第 1 の温度検知素子か  
ら受信された該温度指示に基づいて前記第 1 の加熱素子において散逸される電力を設定し  
、それによって、前記第 1 の光波長応答を第 1 の所定の波長まで変化させる、第 1 の温度  
コントローラと、

第 2 の光学部品であって、該第 2 の光学部品の温度の関数である第 2 の光波長応答を有

50

する、第 2 の光学部品と、

前記第 2 の光学部品の温度上昇を引き起こすことができるように前記第 2 の光学部品に近接して配置される第 2 の加熱素子とを備える、集積光デバイス。

【請求項 17】

第 2 の温度検知素子であって、該第 2 の温度検知素子は、該第 2 の温度検知素子の第 2 の場所において温度指示を生成することができ、前記第 2 の加熱素子によって前記第 2 の場所において引き起こされる温度上昇は、前記第 2 の加熱素子によって前記光デバイスの第 2 の領域において引き起こされる対応する温度上昇よりも高い、第 2 の温度検知素子と、

前記第 2 の加熱素子及び前記第 2 の温度検知素子に結合される第 2 の温度コントローラであって、前記第 2 の温度検知素子から前記温度指示を受信し、該第 2 の温度検知素子から受信された該温度指示に基づいて前記第 2 の加熱素子において散逸される電力を設定し、それによって、前記光波長応答を第 2 の所定の波長まで変化させる、第 2 の温度コントローラとをさらに備える、請求項 16 に記載の集積光デバイス。

【請求項 18】

安定した熱状態中に前記第 1 の温度検知素子によって生成される温度指示は、前記第 1 の加熱素子において散逸される前記電力の第 1 の実質的に線形な関数として変化し、

安定した熱状態中の前記第 1 の光学部品の実効温度は、前記第 1 の加熱素子において散逸される前記電力の第 2 の実質的に線形な関数として変化し、

安定した熱状態中に前記第 2 の温度検知素子によって生成される温度指示は、前記第 2 の加熱素子において散逸される前記電力の第 3 の実質的に線形な関数として変化し、

前記第 2 の光学部品の実効温度は、前記第 2 の加熱素子において散逸される前記電力の第 4 の実質的に線形な関数として変化する、請求項 17 に記載の集積光デバイス。

【請求項 19】

前記第 1 の光学部品は第 1 のアレイ導波回折格子を含む、請求項 18 に記載の集積光デバイス。

【請求項 20】

前記第 2 の光学部品は第 2 のアレイ導波回折格子を含む、請求項 19 に記載の集積光デバイス。

【請求項 21】

前記第 1 の所定の波長は前記第 2 の所定の波長に等しい、請求項 20 に記載の集積光デバイス。

【請求項 22】

前記第 1 の加熱素子は有効なパターン化されたヒータを含む、請求項 19 に記載の集積光デバイス。

【請求項 23】

前記第 1 の実質的に線形な関数は、前記第 1 の加熱素子において前記電力が散逸されることに伴う、前記第 1 の温度検知素子によって生成される前記温度指示の増加率である第 1 の熱定数によって特徴付けられ、

前記第 2 の実質的に線形な関数は、前記第 1 の加熱素子において前記電力が散逸されることに伴う、前記第 1 の光波長応答の前記実効温度の変化率である第 2 の熱定数によって特徴付けられ、

前記第 1 の温度コントローラは、( i ) 第 1 の周期中に前記第 1 の温度検知素子から受信される 1 つ又は複数の温度指示、( i i ) 前記第 1 の周期中に前記第 1 の加熱素子によって散逸される前記電力、及び( i i i ) 前記第 1 の熱定数、に基づいて前記第 1 の周期中の前記第 1 の光学部品の全体温度を推定することができ、

前記第 1 の光波長応答は、前記第 1 の光学部品の第 1 の実効温度において、前記第 1 の所定の波長に実質的に等しく、

前記第 1 の温度コントローラは、

前記第 1 の実効温度と、前記第 1 の周期中の前記第 1 の光学部品の前記全体温度の前

10

20

30

40

50

記推定値との差を計算すること、

前記第 2 の熱定数に対する前記第 1 の熱定数の比を計算すること、

前記差と前記比との積を計算すること、及び

前記第 1 の周期中の前記第 1 の光学部品の前記全体温度の前記推定値に前記積を加算して、前記第 1 の温度コントローラが前記第 1 の周期後の第 2 の周期中に前記第 1 の温度検知素子によって生成される温度指示を変化させる設定点を得ることによって、該設定点を求めることができる、請求項 2 2 に記載の集積光デバイス。

【請求項 2 4】

安定した熱状態中に前記第 1 の温度検知素子によって生成される温度指示は、前記第 1 の加熱素子において散逸される前記電力の第 1 の実質的に線形な関数として変化し、該第 1 の実質的に線形な関数は、前記第 1 の加熱素子において前記電力が散逸されることに伴う、前記第 1 の温度検知素子によって生成される前記温度指示の変化率である第 1 の熱定数によって特徴付けられ、

安定した熱状態中の前記第 1 の光学部品の実効温度は、前記第 1 の加熱素子において散逸される前記電力の第 2 の実質的に線形な関数として変化し、該第 2 の実質的に線形な関数は、前記第 1 の加熱素子において前記電力が散逸されることに伴う、前記第 1 の光学部品の前記実効温度の変化率である第 2 の熱定数によって特徴付けられ、

安定した熱状態中の前記第 2 の光学部品の実効温度は、前記第 2 の加熱素子において散逸される前記電力の第 3 の実質的に線形な関数として変化し、該第 3 の実質的に線形な関数は、前記第 2 の加熱素子において前記電力が散逸されることに伴う、前記第 2 の光学部品の前記実効温度の変化率である第 3 の熱定数によって特徴付けられ、

前記第 1 の温度コントローラは、( i ) 前記第 1 の温度検知素子から受信される 1 つ又は複数の温度指示、( i i ) 前記第 1 の加熱素子によって散逸される前記電力、及び( i i i ) 前記第 1 の熱定数、に少なくとも部分的に基づいて第 1 の周期中の前記第 1 の光学部品の全体温度を推定することができる、

前記第 1 の光波長応答は、前記第 1 の光学部品の第 1 の実効温度において、前記第 1 の所定の波長に実質的に等しく、

前記第 2 の光波長応答は、前記第 2 の光学部品の第 2 の実効温度において、前記第 2 の所定の波長に実質的に等しく、

前記第 1 の温度コントローラは、

前記第 1 の実効温度と、前記全体温度の前記推定値との第 1 の差を計算すること、

前記第 2 の熱定数に対する前記第 1 の熱定数の比を計算すること、

前記第 1 の差と前記比との第 1 の積を計算すること、及び

前記第 1 の積を前記全体温度の前記推定値に加算して、前記第 1 の温度コントローラが前記第 1 の周期後の第 2 の周期中に前記第 1 の温度検知素子によって生成される温度指示を変化させる第 1 の設定点を得ることによって、該第 1 の設定点を求めることができ、

前記第 1 の温度コントローラは、

前記第 2 の熱定数と、前記第 1 の加熱素子において散逸される前記電力との第 2 の積を計算すること、

前記第 2 の実効温度を該第 2 の実効温度から減算することによって第 2 の差を計算すること、

前記第 2 の積を前記第 2 の差に加算することによってその和を計算すること、及び

前記和を前記第 3 の熱定数で割って、前記第 1 の温度コントローラが前記第 2 の加熱素子において散逸される前記電力を設定する第 2 の設定点を得ることによって、該第 2 の設定点を求めることができる、請求項 1 6 に記載の集積光デバイス。

【請求項 2 5】

前記第 1 の加熱素子は第 1 の有効なパターン化されたヒータを含み、前記第 2 の加熱素子は第 2 の有効なパターン化されたヒータを含み、前記第 1 の光学部品は第 1 のアレイ導波回折格子を包含し、前記第 2 の光学部品は第 2 のアレイ導波回折格子を包含する、請求項 2 4 に記載の集積光デバイス。

10

20

30

40

50

## 【請求項 26】

前記第1の所定の波長は前記第2の所定の波長に等しい、請求項24に記載の集積光デバイス。

## 【請求項 27】

前記第1の加熱素子は、前記第1のアレイ導波回折格子に配置される第1の材料から成る第1のパターン化された導電性薄膜を含む、請求項25に記載の集積光デバイス。

## 【請求項 28】

前記第1の温度検知素子は、前記第1のアレイ導波回折格子に近接して配置される前記第1の材料から成る第2のパターン化された導電性薄膜を含む、請求項27に記載の集積光デバイス。

10

## 【請求項 29】

光デバイスの光学部品の温度を安定させる方法であって、該光学部品は、該光学部品の温度の関数である光波長応答を有し、該方法は、

前記光学部品に近接して前記光デバイス上に配置される加熱素子を配備すること、ここで該加熱素子は前記光学部品の温度上昇を引き起こすことができる；

前記光デバイス上に温度検知素子を配備すること、ここで該温度検知素子は、該温度検知素子の場所において温度指示を生成することができ、ここで前記場所において前記加熱素子によって引き起こされる温度上昇は、前記光デバイスの少なくとも1つの領域において前記加熱素子によって引き起こされる対応する温度上昇よりも高い；及び

前記加熱素子及び前記温度検知素子に結合される温度コントローラを配備すること、ここで該温度コントローラは前記温度指示を受信し、前記温度検知素子から受信される前記温度指示に基づいて前記加熱素子において散逸される電力を設定し、それによって前記光波長応答を所定の波長まで変化させる；

20

を包含し、ここで前記温度コントローラは、前記光デバイスの線形化されたモデルに従って前記光波長応答を変化させる、方法。

## 【請求項 30】

前記光学部品は、相互に等しくない長さの複数の光路を含む干渉光学フィルタを含む、請求項29に記載の方法。

## 【請求項 31】

前記光学部品はアレイ導波回折格子を含む、請求項29に記載の方法。

30

## 【請求項 32】

前記加熱素子を配備することは、有効なパターン化されたヒータを配備することを包含する、請求項31に記載の方法。

## 【請求項 33】

前記加熱素子を配備することは、前記アレイ導波回折格子に配置される第1のパターン化された導電性薄膜を配備することを包含する、請求項31に記載の方法。

## 【請求項 34】

前記温度検知素子を配備することは、前記アレイ導波回折格子に配置される第2のパターン化された導電性薄膜を配備することを包含する、請求項31に記載の方法。

## 【請求項 35】

前記第1のパターン化された導電性薄膜を配備することは、第1の材料から成る第1のパターン化された導電性薄膜を配備することを包含し、前記第2のパターン化された導電性薄膜を配備することは、前記第1の材料から成るパターン化された導電性薄膜を配備することを包含する、請求項34に記載の方法。

40

## 【請求項 36】

前記光学部品の前記光波長応答は、前記光学部品の第1の実効温度において、第1の所定の波長に実質的に等しく、

前記温度コントローラは、

(i) 前記温度検知素子から受信される1つ又は複数の温度指示、(ii) 前記加熱素子によって散逸される前記電力、及び(iii) 安定した熱状態中に前記加熱素子におい

50

て前記電力が散逸されることに伴う前記温度指示の増加率、に基づいて前記光学部品の全体温度 ( $T_e$ ) を推定することができ、

前記温度コントローラは、

前記第 1 の実効温度と前記光学部品の前記全体温度の推定値との差を計算すること、

前記第 2 の熱定数に対する前記第 1 の熱定数の比を計算すること、

前記差と前記比との積を計算すること、及び

前記積を前記全体温度の前記推定値に加算して、前記温度コントローラが前記温度検知素子の温度指示を変化させる設定点を得ることによって、該設定点を求めることができる、請求項 29 に記載の方法。

【請求項 37】

光デバイスの光学部品の温度を安定させる方法であって、該光学部品は、該光学部品の温度の関数である光波長応答を有し、前記光学部品が第 1 の実効温度にあるときに、前記光波長応答は所定の波長に等しく、該方法は、

前記光デバイス上の温度検知素子から温度指示を受信すること、ここで該温度検知素子は該温度検知素子の場所において前記温度指示を生成することができる；及び

前記光デバイス上の加熱素子に与えられる電力を調整し、それによって前記光学部品の実効温度を前記第 1 の実効温度に変化させる、ここで該電力を調整することは、前記光デバイスの線形化されたモデルを用いることを包含し、安定した熱状態において、前記光学部品の前記実効温度は、前記加熱素子に与えられる前記電力を増加させるのに伴って第 1 の速度で増加し、前記温度指示は、前記加熱素子に与えられる前記電力を増加させるのに伴って第 2 の速度で増加する；

を包含する方法。

【請求項 38】

前記光学部品はアレイ導波回折格子を含む、請求項 37 に記載の方法。

【請求項 39】

前記光デバイスは前記アレイ導波回折格子上に配置される有効なパターン化されたヒータを含む、請求項 38 に記載の方法。

【請求項 40】

光デバイスの第 1 の光学部品及び第 2 の光学部品の温度を安定させる方法であって、該第 1 の光学部品は、該第 1 の光学部品の温度の関数である第 1 の光波長応答を有し、該第 1 の光波長応答は、前記第 1 の光学部品が第 1 の実効温度にあるときに、第 1 の所定の波長に等しく、前記第 2 の光学部品は、該第 2 の光学部品の温度の関数である第 2 の光波長応答を有し、前記第 2 の光波長応答は、前記第 2 の光学部品が第 2 の実効温度にあるときに、第 2 の所定の波長に等しく、該方法は、

前記第 1 の光学部品に近接して配置される前記光デバイス上の第 1 の温度検知素子から第 1 の温度指示を受信すること、ここで該第 1 の温度検知素子は、該第 1 の温度検知素子の場所において前記第 1 の温度指示を生成することができる；

前記第 1 の光学部品に近接して前記光デバイス上に配置される第 1 の加熱素子に与えられる第 1 の電力を調整し、それによって前記第 1 の光学部品の実効温度を前記第 1 の実効温度に変化させる、ここで該第 1 の電力を調整することは、前記光デバイスの線形化されたモデルに従って、第 1 のフィードバック制御ループにおいて前記第 1 の温度指示を用いることで前記第 1 の電力を設定することを包含する；

前記第 2 の光学部品に近接して配置される前記光デバイス上の第 2 の温度検知素子から第 2 の温度指示を受信すること、ここで前記第 2 の温度検知素子は、該第 2 の温度検知素子の場所において前記第 2 の温度指示を生成することができる；及び

前記第 2 の光学部品に近接して前記光デバイス上に配置される第 2 の加熱素子に与えられる第 2 の電力を調整し、それによって前記第 2 の光学部品の実効温度を前記第 2 の実効温度に変化させる、ここで該第 2 の電力を調整することは、前記光デバイスの前記線形化されたモデルに従って、第 2 のフィードバック制御ループにおいて前記第 2 の温度指示を用いることで前記第 2 の電力を設定することを包含する；

10

20

30

40

50

を包含し、ここで前記線形化されたモデルによれば、安定した熱状態において、前記第 1 の光学部品の実効温度が、前記第 1 の電力を増加させるのに伴って第 1 の速度で増加し、前記第 1 の温度指示が、前記第 1 の電力を増加させるのに伴って第 2 の速度で増加し、前記第 2 の光学部品の実効温度が、前記第 2 の電力を増加させるのに伴って第 3 の速度で増加し、前記第 2 の温度指示が、前記第 2 の電力を増加させるのに伴って第 4 の速度で増加する、方法。

【請求項 4 1】

前記第 1 の光学部品は第 1 のアレイ導波回折格子を含み、前記第 2 の光学部品は第 2 のアレイ導波回折格子を含む、請求項 4 0 に記載の方法。

【請求項 4 2】

前記第 1 の加熱素子は第 1 の有効なパターン化された回折格子を含む、請求項 4 1 に記載の方法。

【請求項 4 3】

前記第 1 の所定の波長は、前記第 2 の所定の波長に等しい、請求項 4 0 に記載の方法。

【請求項 4 4】

光デバイスの第 1 の光学部品及び第 2 の光学部品の温度を安定させる方法であって、該第 1 の光学部品は、該第 1 の光学部品の温度の関数である第 1 の光波長応答を有し、該第 1 の光波長応答は、前記第 1 の光学部品が第 1 の実効温度にあるときに、第 1 の所定の波長に等しく、前記第 2 の光学部品は、該第 2 の光学部品の温度の関数である第 2 の光波長応答を有し、前記第 2 の光波長応答は、前記第 2 の光学部品が第 2 の実効温度にあるときに、第 2 の所定の波長に等しく、該方法は、

前記第 1 の光学部品に近接して配置される前記光デバイス上の温度検知素子から温度指示を受信すること、ここで該温度検知素子は、該温度検知素子の場所において前記温度指示を生成することができる；

前記第 1 の光学部品に近接して前記光デバイス上に配置される第 1 の加熱素子に与えられる第 1 の電力を調整し、それによって前記第 1 の光学部品の実効温度を前記第 1 の実効温度に変化させる、ここで該第 1 の電力を調整することは、前記光デバイスの線形化されたモデルに従って、フィードバック制御ループにおいて前記温度指示を用いることで前記第 1 の電力を設定することを包含する；及び

前記第 2 の光学部品に近接して前記光デバイス上に配置される第 2 の加熱素子に与えられる第 2 の電力を調整し、それによって前記第 2 の光学部品の実効温度を前記第 2 の実効温度に変化させる、ここで該第 2 の電力を調整することは、前記温度指示と前記光デバイスの前記線形化されたモデルにおける前記第 1 の電力のレベルとを用いることで前記第 2 の電力を設定することを包含する；、

を包含し、ここで前記線形化されたモデルによれば、安定した熱状態において、前記第 1 の光学部品の実効温度が、前記第 1 の電力を増加させるのに伴って第 1 の速度で増加し、前記温度指示が、前記第 1 の電力を増加させるのに伴って第 2 の速度で増加し、前記第 2 の光学部品の実効温度が、前記第 2 の電力を増加させるのに伴って第 3 の速度で増加する、方法。

【請求項 4 5】

前記第 1 の光学部品は第 1 のアレイ導波回折格子を含み、前記第 2 の光学部品は第 2 のアレイ導波回折格子を含む、請求項 4 4 に記載の方法。

【請求項 4 6】

前記第 1 の加熱素子は第 1 の有効なパターン化された回折格子を含む、請求項 4 5 に記載の方法。

【請求項 4 7】

前記第 1 の所定の波長は、前記第 2 の所定の波長に等しい、請求項 4 4 に記載の方法。

【請求項 4 8】

光デバイスの第 1 の光学部品及び第 2 の光学部品の温度を安定させる方法であって、該第 1 の光学部品は、該第 1 の光学部品の温度の関数である第 1 の光波長応答を有し、該第

10

20

30

40

50

1の光波長応答は、前記第1の光学部品が第1の実効温度にあるときに、第1の所定の波長に等しく、前記第2の光学部品は、該第2の光学部品の温度の関数である第2の光波長応答を有し、前記第2の光波長応答は、前記第2の光学部品が第2の実効温度にあるときに、第2の所定の波長に等しく、該方法は、

前記第1の光学部品に近接して配置される前記光デバイス上の第1の温度検知素子から第1の温度指示を受信すること、ここで該第1の温度検知素子は、該第1の温度検知素子の場所において前記第1の温度指示を生成することができる；

前記第1の光学部品に近接して前記光デバイス上に配置される第1の加熱素子に与えられる第1の電力を調整し、それによって前記第1の光学部品の実効温度を前記第1の実効温度に変化させる、ここで該第1の電力を調整するステップは、前記光デバイスの線形化されたモデルに従って、第1のフィードバック制御ループにおいて前記第1の温度指示を用いることで前記第1の電力を設定することを包含する；

前記第2の光学部品に近接して配置される前記光デバイス上の第2の温度検知素子から第2の温度指示を受信すること、ここで前記第2の温度検知素子は、該第2の温度検知素子の場所において前記第2の温度指示を生成することができる；及び

前記第2の光学部品に近接して前記光デバイス上に配置される第2の加熱素子に与えられる第2の電力を調整し、それによって前記第2の光学部品の実効温度を前記第2の実効温度に変化させる、ここで該第2の電力を調整することは、前記光デバイスの前記線形化されたモデルに従って、第2のフィードバック制御ループにおいて前記第2の温度指示を用いることで前記第2の電力を設定することを包含する；

を包含する、方法。

#### 【請求項49】

光デバイスの第1の光学部品及び第2の光学部品の温度を安定させる方法であって、該第1の光学部品は、該第1の光学部品の温度の関数である第1の光波長応答を有し、該第1の光波長応答は、前記第1の光学部品が第1の実効温度にあるときに、第1の所定の波長に等しく、前記第2の光学部品は、該第2の光学部品の温度の関数である第2の光波長応答を有し、前記第2の光波長応答は、前記第2の光学部品が第2の実効温度にあるときに、第2の所定の波長に等しく、該方法は、

前記第1の光学部品に近接して配置される前記光デバイス上の温度検知素子から温度指示を受信すること、ここで前記温度検知素子は、該温度検知素子の場所において前記温度指示を生成することができる；

前記第1の光学部品に近接して前記光デバイス上に配置される第1の加熱素子に与えられる第1の電力を調整し、それによって前記第1の光学部品の実効温度を前記第1の実効温度に変化させる、ここで該第1の電力を調整するステップは、前記光デバイスの線形化されたモデルに従って、フィードバック制御ループにおいて前記温度指示を用いることで前記第1の電力を設定することを包含する；及び

前記第2の光学部品に近接して前記光デバイス上に配置される第2の加熱素子に与えられる第2の電力を調整し、それによって前記第2の光学部品の実効温度を前記第2の実効温度に変化させる、ここで該第2の電力を調整することは、前記温度指示と前記光デバイスの前記線形化されたモデルにおける前記第1の電力のレベルとを用いることで前記第2の電力を設定することを包含する；

を包含する、方法。

#### 【請求項50】

集積光デバイスであって、

光学部品であって、該光学部品の温度の関数である光波長応答を有する光学部品と、

前記光学部品において電力を散逸することによって前記光学部品の温度を調整する手段であって、散逸される前記電力は前記光学部品の前記実効温度又は前記光学部品の温度指示のうちの少なくとも一方の少なくとも1つの線形化された関数を用いて求められる、前記光学部品の温度を調整する手段と、

を備える集積光デバイス。

## 【請求項 5 1】

集積光デバイスであって、

第 1 の光学部品であって、該第 1 の光学部品の温度の関数である第 1 の光波長応答を有する第 1 の光学部品と、

第 2 の光学部品であって、該第 2 の光学部品の温度の関数である第 2 の光波長応答を有する第 2 の光学部品と、

前記第 1 の光学部品及び前記第 2 の光学部品において電力を散逸することによって前記第 1 の光学部品及び前記第 2 の光学部品の前記温度を調整する少なくとも 1 つの手段であって、前記温度を調整する各手段によって散逸される前記電力は前記光学部品の前記実効温度又は前記光学部品の温度指示のうちの少なくとも一方の少なくとも 1 つの線形化された関数を用いて求められる前記第 1 の光学部品及び前記第 2 の光学部品の前記温度を調整する少なくとも 1 つの手段と、

を備える集積光デバイス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は包括的には光ファイバ通信に関し、より詳細には、光導波路フィルタ及び他の温度感受性の集積光学部品 (integrated optical components: 統合された光学部品) の同調 (チューニング) 及び温度安定化に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

これまで、数十年にわたって、光ファイバ技術が電気通信において用いられている。高帯域幅 (high-bandwidth) の用途において、光ファイバは実質的に、旧式の銅線に取って代わっている。このように移り変わっている理由は数多くある。光ファイバが銅線よりも優れている点には、帯域幅 (バンド幅) が広いこと、信号減衰が小さいこと、軽量であること、電磁干渉の影響を受けないこと、電気火花が発生しないこと、クロストークを実質的になくすることができること、物理的に可撓性であること、サイズが小さいこと、及び低コストであることが包含される。

## 【0003】

光ネットワークでは、送信されることになる電気信号が、通常、 $1.3\ \mu\text{m}$  帯又は  $1.5\ \mu\text{m}$  帯の波長の赤外線の変調する。変調された光は光ファイバを介して送信、受信、及び復調されて、元の電気信号のコピーが再生される。

## 【0004】

多数の光ファイバネットワークは商用のデータ輸送を対象にしている。したがって、ネットワーク事業者は、低コストで、信頼性、忠実度、効率及び安全性が高い、広帯域の能力を求めている。単一のファイバの伝送帯域幅 (transmission bandwidth) はかなり広い。現在、単一波長チャネルにおいて  $10\ \text{Gbit/s}$  (OC-192) 及び  $40\ \text{Gbit/s}$  (OC-768) でデータを輸送するコスト効率の良いシステムが市販されている。しかし、1本のファイバから理論的に実現可能な全スループットは、それよりもはるかに高く、数十テラヘルツである。高密度波長分割多重 (Dense wavelength division multiplexing: DWDM) システムは、この利用可能なスペクトルのさらに多くの部分を使用するために発展してきた。そのようなシステムでは、数多くの異なる波長チャネルを同時に用いて、同じファイバを介して複数のデータ搬送信号が送信される。各波長が  $10\ \text{Gbit/s}$  程度を搬送し、単一のファイバにおいて  $1.6\ \text{Tbit/s}$  の全容量を提供する、最大で 160 の異なる波長を用いるシステムが開発されている。必要とする容量がさらに小さいファイバリンクの場合、粗密度波長分割多重 (Coarse wavelength division multiplexing: CWDM) と呼ばれ、さらに広い間隔の波長で、より少ないチャネルを用いる低密度のアーキテクチャを同じようにして用いることができる。DWDM 及び CWDM はまとめて、波長分割多重、すなわち WDM と呼ばれる。

## 【0005】

10

20

30

40

50

WDM光ネットワークでは、送信するときに複数の個別の波長を多重化（統合）し、受信するときに、それらの波長を逆多重化（分離）して個別のチャンネルに戻す必要がある。多重化機能及び逆多重化機能は、光学フィルタ、典型的には薄膜干渉フィルタ、アレイ導波路回折格子（arrayed waveguide grating：AWG）のような導波路干渉計、又はファイバブラッグ回折格子（fiber Bragg grating）によって実行される。光ネットワークのノードは、典型的には、次の両方のタイプの機能を提供する。すなわち、ノードに入ってくる1つ又は複数のファイバ上の個々の波長チャンネルのうちのいくつか又は全てを抽出すること、そして、それらの波長のうちのいくつかを、ローカルな供給源（ソース）からのデータを搬送する新たな波長と合成し直して、ノードから出て行く1つ又は複数のファイバの中に送出する。これらの機能及び他の機能を実行する光フィルタが、WDM光ネットワーク全体の中に大量に分散される。

10

## 【0006】

データを光学的表現から電氣的表現に、又は電氣的表現から光学的表現に変換するには著しいコストがかかる。それゆえ、通常はノードの局所的なトラフィックとは無関係であるデータは、トランスペアレント（透過的）に、すなわち変換されることなく又は非線形処理されることなく、ノードの中を通されることが好ましい。トランスペアレントであるため、所与の光信号はネットワーク内のその経路上にあるいくつかの光フィルタを通り抜けることができる。信号忠実度が過度に劣化するのを避けるために、分散ネットワークでは、直接接続の場合よりも、光フィルタの帯域形状並びに位相応答の精度及び安定性がさらに厳密に制御される必要がある。

20

## 【0007】

AWGは、集積された平面導波路から形成され、より多くのチャンネル数に容易に拡張される。AWGは、一般的に用いられるフィルタアーキテクチャから最近になって開発されたが、高性能であり且つコスト効率が良いことから、8つ以上の光チャンネルが多重化又は逆多重化される用途において普及し始めている。図1は、入力導波路12と、1つ又は複数の出力導波路14と、並んで配置される導波路のフェーズドアレイ16と、一对の集束スラブ領域18及び19とを備える典型的なアレイ導波回折格子10を示す。集束スラブ領域18は、入力導波路12からの光を、フェーズドアレイ16の導波路の近端に結合し、一方、集束スラブ領域19は、フェーズドアレイ16の導波路の遠端において生じる光を出力導波路14に結合する。フェーズドアレイ16の導波路は異なる長さを有し、隣接する導波路間には、一定の光路長差  $L_o_p$  がある。

30

## 【0008】

単色光が入力導波路12を照射するとき、スラブ18は、光のエネルギーを導波路16 a ~ 16 nの近端の中に拡散する。導波路16 a ~ 16 nの光路長が異なるため、光が進行する特定の導波路に応じて、導波路16 a ~ 16 nの遠端において生じる光は異なる位相を有する。生じる光が集束スラブ領域19によって合成された後に、光の波長に応じて、或る点において異なる位相が強め合うように干渉する。その点が出力導波路14のうちの1つと一致する場合には、その光はこの光導波路に結合される。単色光の波長を変更することによって、強め合う干渉の点が変化し、それが1つの出力導波路（たとえば、14 a）から別の出力導波路（たとえば、14 b）に移動する。

40

## 【0009】

線形システム理論から既知であるように、以下のスペクトル分布を有する非単色WDM光信号は、単に個々の単色信号  $c_i * \lambda_i$  の集合物として処理することができる。

## 【0010】

## 【数1】

$$\sum_i c_i * \lambda_i$$

## 【0011】

それゆえ、入力導波路12がこのWDM信号を照射されるとき、その成分である波長成

50

分  $\lambda_i$  はそれぞれ、異なる点において集束することになり、異なる出力導波路 14 に結合される。したがって、WDM 信号の成分波長チャンネル  $\lambda_i$  は、異なる出力導波路 14 の中に物理的に分離される、すなわち逆多重化される。電磁界に適用することができる相反原理によれば、入力導波路 12 上に入射する波長  $\lambda_j$  が出力導波路 14  $\lambda_j$  の中に導かれる場合には、出力導波路 14  $\lambda_j$  上に入射する同じ波長チャンネル  $\lambda_j$  が、入力導波路 12 の中に導かれる、すなわち多重化される。したがって、アレイ導波回折格子 10 は、入力としていずれの端部が選択されるかによって、マルチプレクサ及びデマルチプレクサの両方として用いることができる。

#### 【0012】

AWG を形成するために用いられる平面導波路技術は、光集積化技術である。光ネットワークノードが益々複雑になるにつれて、AWG は、1 つのチップ上に集積される複数の光学回路素子のうちの 1 つに過ぎなくなる。集積度を高めたデバイスの例には、マルチプレクサ/デマルチプレクサの調和している対、アド-ドロップマルチプレクサ、プログラム可能な波長ブロック、及び波長選択性ルーティングスイッチが含まれる。当然、1 つ又は複数のアレイ導波回折格子を含むことがある他の集積光回路も存在する。

10

#### 【0013】

光学フィルタの帯域形状の精度及び安定性、並びに AWG の位相応答をより厳密に制御する 1 つの方法は、AWG の中心波長を制御することである。AWG の中心波長  $\lambda_c$  は、AWG のフェーズドアレイの導波路の中の位相シフトに依存する（「中心波長」は、特定の出力導波路内に最適に、又は実質的に最適に導かれる波長を意味する）。その位相シフトは導波路の屈折率に依存し、屈折率は導波路の温度に依存する。シリカを基にする導波路の場合、屈折率の温度係数の大きさ ( $dn/dT$ ) は、実質的に  $10^{-5}/(^\circ\text{C})$ 、すなわち 100 万分の 10  $^\circ\text{C}$  であり、それは同じ大きさの波長温度係数 ( $d\lambda/dT$ ) に換算され、且つ 1.5  $\mu\text{m}$  波長において約 2 GHz  $^\circ\text{C}^{-1}$  の温度周波数係数 ( $df/dT$ ) に換算される。約 100 GHz 以下のチャンネル間隔の場合、商用の温度範囲である 60  $^\circ\text{C}$  にわたってアレイ導波回折格子が動作するだけでも問題が生じる。さらに、費用のかかるトリミングを用いない場合、相対的に狭いチャンネル間隔でも十分な中心波長精度を有するアレイ導波回折格子を製造するのは難しい。このため、アレイ導波回折格子及び類似の光学部品は、中心波長の安定化が行われる。

20

#### 【0014】

最も一般的には、この安定化は、光学チップの温度を能動的に調整することによって達成される。この方法によれば、加熱素子が部品の温度を設定点温度 (set-point temperature) まで均一に高める。設定点温度の選択を変更することによって、回折格子を選択された中心波長に同調させることができるようになり、トリミングが不要になるか、又はその必要性が低減され、歩留まりが増加する。アレイ導波回折格子を熱的に同調させる基本的な方法に関する 1 つの変形では、フェーズドアレイの他の導波路よりも、そのアレイのいくつかの導波路の長さをより長く覆うように、集積ヒータがパターン化 (パターン形成) される。ヒータの形状が適切に選択される場合には、パターン化されたヒータの動作によって生成される局所的な加熱によって、隣接する導波路間の実効的な光路長差が大きくなる。言い換えると、それにより、波形の傾斜が、アレイの導波路にわたって均一に分布するヒータから生じる場合よりも、何倍も増加する (又は減少する)。パターン化されたヒータは、フェーズドアレイの導波路に不均一に影響を及ぼすため、ヒータの温度に対する中心波長の感度が増し、それと共に、回折格子の同調範囲も大きくなる。したがって、中心波長のシフトはさらに効率的になり、加える熱エネルギーが少なくても、出力波長の同じ熱光学的傾斜を生み出すことができる。本明細書において、そのようなパターン化されたヒータは、「有効なパターン化 (パターン形成) されたヒータ (efficient patterned heaters)」とも呼ばれる。

30

40

#### 【0015】

光集積回路は、アレイ導波回折格子、導波路、光カプラ、スプリッタ、3次元光学メモリデバイス、ブラッグ回折格子、光減衰器、光学スプリッタ、光学フィルタ、光学スイッ

50

チ、レーザ、変調器、インターコネクタ（相互接続）、光学アイソレータ、光学アド・ドロップマルチプレクサ（OADM）、光学増幅器、偏光子、光学サーキュレータ、移相器、光学ミラー／反射器、光学位相リターダ（Optical phase-retarder）、光学検出器、及び他の光学部品を含むことがある。光集積回路は、厳密な意味では「回路」ではない（たとえば、それらは「グランド」経路を持たない）が、電気的な集積回路との類似性によって、一般的に光集積回路と呼ばれることを理解すべきである。電気的な（半導体）集積回路の場合と同様に、共用基板上にいくつかの光学部品を形成する結果として、製造中のコストを大幅に節約することができること、及びアセンブリをさらに小型化することができることを含む、いくつかの利点をもたらされる。共通の基板上に平面導波路と共に構築されるマルチデバイス光集積回路は、「平面光波回路（planar lightwave circuit(s)）」、すなわちPLC（複数はPLCs）として既知である。

10

#### 【0016】

DWDMのために一般的に用いられる100GHz光周波数格子に直接AWGを形成するために、絶対屈折率の精度は、 $10^{-5}$ よりも高い必要があるであろう。このレベルのプロセス制御は現時点では達成するのが難しい。既に記載したように、実際の製造偏差は、能動的に安定させるために、選択された動作温度を調整することによって補償することができる。同じチップ上の2つのAWGが同じ安定化温度を必要とするとは考えにくい。波長安定化に関して現在用いられている方法を考えると、所与のPLC上にある2つ以上の回折格子を熱的に制御することは難しい。

20

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0017】

したがって、光学部品の温度を正確に安定させる方法が必要とされている。また、共通の基板上に多数の温度安定化した部品、特にアレイ導波回折格子を含むことができる光波回路が必要とされている。さらに、部品の中心波長を安定させておくために、光学部品の温度を高い精度で制御する方法が必要とされている。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0018】

本発明は、これらの要求のうちの1つ又は複数を満たす装置及び方法を対象とする。本明細書において開示される発明は、光学部品であって当該光学部品の温度の関数である光波長応答（optical wavelength response）（たとえば中心波長：center wavelength）を有する、光学部品と、光学部品の温度上昇を引き起こすことができるように光学部品に近接して配置される加熱素子（heating element）とを備える集積光デバイスである。当該光学部品の第1の実効温度では、かかる光学部品の光波長応答は、所定の波長に実質的に等しい。集積光デバイスはさらに温度検知素子を備え、当該温度検知素子は当該温度検知素子の場所において温度指示を生成することができ、加熱素子によってその場所において引き起こされる温度上昇は、光デバイスの少なくとも1つの領域において加熱素子によって引き起こされる対応する温度上昇よりも高い。温度検知素子及び加熱素子はいずれも温度コントローラに接続することができ、当該温度コントローラは、温度検知素子から温度指示を受信し、光波長応答を所定の波長まで変化させるために、その温度指示に基づいて、加熱素子において散逸される電力を設定する。その集積光デバイスは、光デバイスの安定した熱状態中に、温度検知素子によって生成される温度指示が、加熱素子において散逸される電力の第1の実質的に線形な関数として変化し、光学部品の実効温度が、加熱素子において散逸される電力の第2の実質的に線形な関数として変化するように設計される。

30

40

#### 【0019】

第1の実質的に線形な関数は、加熱素子において電力が散逸されることに伴う温度指示の増加率である第1の熱定数によって特徴付けられ、一方、第2の実質的に線形な関数は、加熱素子において電力が散逸されることに伴う光波長応答の変化率である第2の熱定数によって特徴付けられる。

50

## 【 0 0 2 0 】

動作中に、温度コントローラは、( i ) 第 1 の周期中に温度検知素子から受信される 1 つ又は複数の温度指示、( i i ) 第 1 の周期中に加熱素子によって散逸される電力、及び ( i i i ) 第 1 の熱定数に基づいて、第 1 の周期中に光学部品の全体温度を推定する。その後、温度コントローラは、以下の計算を行うことによって、第 1 の周期後の第 2 の周期中に、温度検知素子の温度指示を変化させる設定点 ( set-point ) を求める。

( 1 ) 第 1 の実効温度と、第 1 の周期中の光学部品の全体温度の推定値との差を計算すること、

( 2 ) 第 2 の熱定数に対する第 1 の熱定数の比を計算すること、

( 3 ) その差とその比との積を計算すること、及び

( 4 ) 第 1 の周期中の光学部品の全体温度の推定値にその積を加算して、設定点を得ること。

10

## 【 0 0 2 1 】

集積光デバイスの別の態様は、上記の 2 組の部品、すなわち 2 つの光学部品、2 つの加熱素子及び温度検知素子、並びに 2 つの温度コントローラを含む。各組の部品は、他の組とは実質的に独立して機能して、特定の中心波長に対応する部品の特有の実効温度において各光学部品 (たとえば、光学フィルタ) を安定させる。2 つの中心波長は同じにすることができ、2 つの回折格子の実効温度は通常、2 つの波長が同じ場合であっても異なる。任意選択的に、単一の温度コントローラを用いて、両方の光学部品を安定させることができる。

20

## 【 0 0 2 2 】

他の態様では、集積光デバイスは、第 1 の光学部品及び第 2 の光学部品と、第 1 の加熱素子及び第 2 の加熱素子と、1 つの温度検知素子と、1 つの温度コントローラとを備える。第 1 の光学部品は、第 1 の光学部品の温度の関数である第 1 の光波長応答を有し、第 1 の光波長応答は、第 1 の光学部品の第 1 の実効温度における第 1 の所定の波長に実質的に等しい。第 1 の加熱素子は第 1 の光学部品に近接して配置され、第 1 の光学部品の温度上昇を引き起こすことができ、一方、温度検知素子は、第 1 の温度検知素子の第 1 の場所において温度指示を生成することができる。第 1 の場所は、第 1 の加熱素子によって第 1 の場所において引き起こされる温度上昇が、光デバイスの第 1 の場所から離れた第 1 の領域において第 1 の加熱素子によって引き起こされる対応する温度上昇よりも高いような場所である。典型的には、第 1 の温度検知素子は、第 1 の加熱素子及び第 1 の光学部品の近くに配置される。温度コントローラは、第 1 の加熱素子及び第 1 の温度検知素子に結合され、第 1 の光波長応答を第 1 の所定の波長に変化させる (ドライブする) ために、第 1 の温度検知素子から温度指示を受信し、第 1 の温度検知素子から受信される温度指示に基づいて第 1 の加熱素子において散逸される電力を設定することができる。

30

## 【 0 0 2 3 】

第 2 の光学部品は、第 2 の光学部品の温度の関数である第 2 の光波長応答を有し、第 2 の光波長応答は、第 2 の光学部品の第 2 の実効温度における第 2 の所定の波長に実質的に等しい。第 2 の加熱素子は第 2 の光学部品に近接して配置され、第 2 の光学部品の温度上昇を引き起こすことができる。

40

## 【 0 0 2 4 】

本態様の部品配置及び他の設計上の選択事項は、安定した熱状態中に第 1 の温度検知素子によって生成される温度指示が、第 1 の加熱素子において散逸される電力の第 1 の実質的に線形な関数として変化するようになされ、第 1 の実質的に線形な関数は、第 1 の加熱素子において電力が散逸されることに伴う、第 1 の温度検知素子によって生成される温度指示の変化率である第 1 の熱定数によって特徴付けられる。安定した熱状態中の第 1 の光学部品の実効温度は、第 1 の加熱素子において散逸される電力の第 2 の実質的に線形な関数として変化し、第 2 の実質的に線形な関数は、第 1 の加熱素子において電力が散逸されることに伴う、第 1 の光学部品の実効温度の変化率である第 2 の熱定数によって特徴付けられる。安定した熱状態中の第 2 の光学部品の実効温度は、第 2 の加熱素子において散逸

50

される電力の第3の実質的に線形な関数として変化し、第3の実質的に線形な関数は、第2の加熱素子において電力が散逸されることに伴う、第2の光学部品の実効温度の変化率である第3の熱定数によって特徴付けられる。

【0025】

動作中に、温度コントローラを用いて、(i)第1の温度検知素子から受信される1つ又は複数の温度指示、(ii)第1の加熱素子によって散逸される電力、及び(iii)第1の熱定数に少なくとも部分的に基づいて、第1の周期中の第1の光学部品の全体温度を推定することができる。その後、温度コントローラを用いて、第1の設定点を求めることができ、温度コントローラは、第1の周期後の第2の周期中に、第1の温度検知素子によって生成される温度指示を第1の設定点まで変化させる。第1の設定点は以下のように求めることができる。

10

【0026】

温度コントローラは、(1)第1の実効温度と全体温度の推定値との間の第1の差を計算し、(2)第2の熱定数に対する第1の熱定数の比を計算し、(3)第1の差と比との第1の積を計算し、(4)第1の積を全体温度の推定値に加算して、第1の設定点を得る。

【0027】

また、温度コントローラを用いて、第2の設定点を求めることもでき、温度コントローラは、第2の加熱素子において散逸される電力を第2の設定点に設定する。第2の設定点は以下のように求めることができる。

20

【0028】

温度コントローラは、(1)第2の熱定数と第1の加熱素子において散逸される電力との第2の積を計算し、(2)第2の実効温度から第2の実効温度を減算することによって第2の差を計算し、(3)第2の積を第2の差に加算することによって和を計算し、(4)その和を第3の熱定数で割って、第2の設定点を得る。

【0029】

本発明のこれらの特徴及び態様並びに他の特徴及び態様は、以下の説明及び添付の特許請求の範囲を参照することによってさらに理解が進むであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

30

ここで、添付の図面に示される本発明のいくつかの実施形態が詳しく参照される。可能な限り、同じ又は類似の部分参照するために、図面及び説明において同じ又は類似の参照符号が用いられる。それらの図面は簡略化されており、正確な縮尺を有しない。便宜的に且つ明確にするためだけに、添付の図面に関して、上側、下側、左、右、上へ、下へ、上方、上、下、真下、後及び前などの方向に関する用語が用いられることがある。方向に関するこれらの用語及び類似の用語は、どのような形であっても、本発明の範囲を限定するものと解釈されるべきではない。さらに、用語「アレイ導波回折格子」、「回折格子」及び「AWG」は、その違いが言及されない限り、又は他の方法で文脈から明らかにされない限り、入れ替えて用いることができる。また、AWG及び同等な用語は、物理的な導波路アレイと、そのようなアレイを基にする光学フィルタデバイスとの両方を参照するために用いられる。

40

【0031】

図面をさらに詳細に参照すると、図2A及び図2Bはそれぞれ、本発明による、1つの例示的な温度制御式アレイ導波回折格子200の平面図、及び(線A-A'に沿った)断面図を示す。回折格子200は、平面基板205上に構築することができる。この特定の実施形態では、基板はシリコンから形成することができる。基板205上に下部クラディング層210を堆積することができる。下部クラディング層210上に複数の導波路220を形成することができる。下部クラディング層210上、且つ導波路220上に上部クラディング層215を形成することができる。それにより、2つのクラディング層210及び215が導波路220を取り囲むようになる。クラディング層210及び21

50

5 はシリカから形成することができ、一方、導波路 220 は、ドープされたシリカから形成することができる。導波路 220 の材料の屈折率は、クラディング層 210 及び 215 の材料の屈折率よりも高くすることができ、それにより、光が、図示される断面の平面に対して垂直な方向に導波路 220 の中を進行することができるようになる。図 2A から明らかなように、導波路 220 は曲線から成り、それにより、個々の終端間で異なる長さ及び位相シフトを提供することができる。

#### 【0032】

集積パターン化ヒータ（集積されたパターン化されたヒータ）227 は楔形（wedge-shaped）を成すことができるが、他の形状を用いることもできる。それは、バス 230A ~ D と、ヒータ素子 235A 及び 235B とを含む。図示される実施形態では、各ヒータ素子 235 は、導波路 220 のうちの 1 つの上において一对のバス 230 間に及び、単位長当たり同じ電力を散逸するように設計することができる。バス 230 は、ヒータ素子 235 よりも厚くして、各ヒータ素子 235 に対して相対的に一定の動作電圧を与えることができる。したがって、ヒータ素子 235 によって覆われる導波路 220 の部分の単位長当たり生成される熱も、実質的に同じにすることができる。したがって、ヒータ 227 の動作に起因して結果として光波に傾斜が生じるが、ヒータ 227 の動作によって引き起こされる歪みは相対的に小さい。

10

#### 【0033】

ヒータ 227 によって加えられる電力の変化に対する導波路 220 の屈折率の応答時間は、1 ミリ秒よりも長くすることができる（ただし、1 ミリ秒未満の応答時間も可能である）。これにより、AC 又は PWM 信号が適切に高い周波数を有する限り、ヒータ 227 は、直流（DC）で動作することができるだけでなく、交流（AC）又はパルス幅変調（PWM）電気信号でも動作することができるようになる。実施形態によっては、周波数は、応答時間の逆数によって決定されるしきい値よりも高くすることができる。他のさらに具体的な実施形態では、周波数は約 1 KHz よりも高くすることができる。

20

#### 【0034】

参照符号 225 は、回折格子 200 の温度をモニタリングするための 1 つの例示的な温度センサを示す。一実施形態では、温度センサは、ヒータ 227 と同じ材料から形成することができ、上部クラディング層 215 上に堆積することができ、ヒータバス 230 及びヒータ素子 235 と共に形成することができる。温度センサ 225 のために用いられる材料は、正の抵抗温度係数を有し、対象となる温度、たとえば約 30 ~ 約 120 の範囲（複数可）内の温度のスペクトルにわたって実質的に線形の挙動を示す。回折格子 200 のいくつかの変形では、プラチナ、ニッケル及びタングステンが、センサ 225 を構成するために用いられる材料である。図 2A に示されるように、温度センサ 225 の具体的なパターンは、バス 230A 及び 230B のかなりの部分に沿って延在し、その場所に沿って温度の或る平均化を実現する。別の例示的な温度センサ設計が図 5 に示されており、温度センサ 525 が、回折格子 500 の温度のさらに局所的な読み値を提供する。

30

#### 【0035】

図 3 は、本発明による、1 つの例示的なアレイ導波回折格子 300 の平面図を示す。この図から分かるように、パターン化されたヒータ 327 のヒータ素子 335 は、各バス対 330 間においてジグザグに配置される。各ヒータ素子 335 の長さは実質的に等しくすることができ、単位長当たりの各ヒータ素子 335 の抵抗も実質的に一定にすることができる。結果として、各素子 335 は、単位長当たり実質的に同じ電力を散逸することができる。導波路 320 は図 3 の上側に向かうほど長く、図 3 の下側に向かうほど短くなるため、ヒータ素子 335 は、異なる数の導波路 320 を覆うようにジグザグに配置される。さらに、導波路 320 のうちの 1 つの導波路の異なる部分が、異なるヒータ素子 335 によって覆われることができる。たとえば、それぞれ両方の導波路 320A 及び 320B の部分を覆うヒータ素子 335A 及び 335B を参照されたい。

40

#### 【0036】

平面光波回路上にアレイ導波路構造を形成するための工程は一般的に、当業者に既知で

50

あり、したがって、詳細に説明する必要はない。完全を期すために、以下に簡単な説明を記載する。

【0037】

再び図2A及び図2Bを参照すると、熱酸化、化学気相成長(chemical vapor deposition: CVD)、火炎加水分解堆積(flame hydrolysis deposition: FHD)、及びレーザー反応堆積(laser reactive deposition: LRD)のような既知の技法を用いて、基板205上に下部クラディング層210を成長させることができるか、又は堆積することができる。同じく、CVD、FHD又はLRDを用いて、下部クラディング層210上に、ドーパされたシリカ層を堆積することができる。ドーパされたシリコン層は、下部クラディング層210の屈折率よりも高い屈折率を有する。フォトリソグラフィ技法を用いて、ドーパされたシリコン層上に、曲線を成す導波路220を画定するフォトレジストマスクを転写することができ、マスクを通じて露出されるドーパされたシリカ層のエリアを反応性イオンエッチングすることによって、導波路220を形成することができる。次に、フォトレジストマスクを除去することができ、導波路220上に、且つ下部クラディング層210上に、CVD、FHD又はLRDを用いて、上部クラディング層215を堆積することができる。上部クラディング層215は、シリカ、又はドーパされたシリカから形成することができ、導波路220の屈折率よりも低い屈折率を有する。具体的な実施形態では、上部クラディング層215の屈折率は、下部クラディング層210の屈折率と実質的に一致し、導波路220の上部表面の上に約5マイクロメートル~約20マイクロメートルの厚みを有する。

10

20

【0038】

上部クラディング層215上に、たとえば、CVD、LRD、FHD、スパインコーティング、蒸着、又はスパッタリング技法を用いて、薄膜導電層を形成することができる。別のフォトレジストマスク及びエッチング工程を用いて、導電層をパターン化して、集積ヒータ227及び温度センサ225を形成することができる。回折格子200のいくつかの変形では、その後、デバイス全体を保護層でコーティングすることができ、保護層は、たとえば、CVD又はLRD又はFHDによって堆積される二酸化シリコン又は酸化シリコンから形成することができる。

【0039】

図4は、本発明による、アレイ導波回折格子のヒータを駆動するための1つの例示的な温度制御システム400のハイレベルの概略的なブロック図を示す。符号427及び425はそれぞれ、回折格子のヒータ及び温度センサを指している。温度補償型電流源440が、RTD(抵抗温度デバイス)センサ425を駆動することができる。温度センサとして、種々のサーミスタ、ダイオード及び熱電対を用いることもできる。システム400の動作原理に影響を及ぼすことなく、電流源440の代わりに、電流シンクを用いることができることに留意されたい。

30

【0040】

温度センサ425の両端で生成される電圧を、図4に示されるアナログ/デジタル(A/D)コンバータのような温度リーダ442に入力することができる。コンパレータ445が、温度リーダ442から受信される読み値を、入力446から受信される設定点電圧と比較することができ、出力447において差信号を生成することができる。その後、差信号は、フィルタリング機構450の中を進むことができ、ヒータドライバ回路455を制御することができる。例示される実施形態では、ヒータドライバ回路455としてパルス幅変調器を用いることができ、一方、フィルタリング機構450としてローパス時間平均フィルタを用いることができる。

40

【0041】

コンパレータ445及びフィルタ機構450は、マイクロコントローラによって実行されるプログラムコードにおいて実装することができる。マイクロコントローラは周期的に、A/Dコンバータ442(同じマイクロコントローラの一部にすることができる)の動作を開始することができ、A/Dコンバータ442によって生成される出力を読み取るこ

50

とができる。その後、マイクロコントローラは、その読み値を、入力 4 4 6 における設定点温度信号と比較することができ、2つの信号間の差を計算することができ、さらに、その差を所定の時間期間にわたって平均して、出力 4 5 1 においてヒータ制御信号を生成することができる。

#### 【0042】

例示的な温度制御システム 4 0 0 のいくつかの変形では、平均化期間を、実質的に、システム 4 0 0 の熱時定数、すなわち、ヒータ出力の変化の、光学フィルタの波長応答の変化への伝播を示す時定数オーダにすることができる。温度制御システム 4 0 0 のさらに具体的な変形では、平均化期間は、システムの熱時定数の約 1.5 倍 ~ 5 倍にすることができる。

10

#### 【0043】

フィルタリング機構 4 5 0 の出力 4 5 1 は、ヒータドライバ回路 4 5 5 の出力 4 5 6 における信号のパルス幅を制御する。その入力 4 4 6 における信号に対応する温度がセンサ 4 2 5 によって検出される温度よりも高いことをコンパレータ 4 4 5 が検出するときに、回路 4 4 5 によって出力されるパルスの幅が大きくなるように、コンパレータ 4 4 5 の極性を設定することができる。このようにして、設定点電圧を変更することによって、1対1に対応するように、温度センサ 4 2 5 の温度が変更される。

#### 【0044】

アナログ及びデジタルの両方のコントローラの実施態様を含む、本発明によるアレイ導波回折格子のための温度コントローラを実現する数多くの他の方法がある。Omega Engineering, Inc. (1 Omega Drive, Stamford, CT, www.omega.com, 1-800-872-9436) から入手することができる温度コントローラを含む市販の温度コントローラを多数の供給元から入手することもできる。

20

#### 【0045】

ここで、アレイ導波回折格子、たとえば図 2 の回折格子 2 0 0 を同調させると共に温度を安定させるための方法を参照すると、「実効温度 (effective temperature)」すなわち  $T_c$  の概念が定義される。本明細書において上記で提示されたアレイ導波回折格子の動作の理論から、回折格子の中心波長  $\lambda_c$  は、回折格子の均一温度 (uniform temperature)  $t$  の関数であることが明らかである。それにより、この関数従属性は、 $\lambda_c(t)$  として示される。回折格子の温度が、回折格子全体を通じて均一でないとき、結果として回折格子の通過帯域に、或る位相誤差及び歪みが生じることがあるが、識別可能な中心波長  $\lambda_c = \lambda_1$  は、おそらく存続するであろう。この熱状態における回折格子の実効温度  $T_c$  は、同じ回折格子であるが、均一に加熱された回折格子を参照することによって定義される： $\lambda_c(T_c) = \lambda_1$ 。言い換えると、中心波長  $\lambda_1$  を有する不均一に加熱される回折格子の実効温度  $T_c$  は、同じ中心波長  $\lambda_1$  を有する同じ回折格子の均一な温度に等しい。

30

#### 【0046】

センサ温度  $T_r$ 、及び全体又は環境の温度  $T_e$  の概念も定義される。ただし、環境温度は、アレイ導波回折格子に全体として影響を及ぼす温度である。パターン化された集積ヒータで覆われる回折格子の場合、ヒータに近接するセンサの温度  $T_r$  は、環境温度  $T_e$  よりも高いものと予想される。なぜなら、パターン化された (パターン形成された) ヒータが回折格子の一部を覆い、熱が、当該ヒータから、当該ヒータから離れているチップの種々の領域に流れるためである。

40

#### 【0047】

実験結果、並びに有限要素熱及び光解析はいずれも、2つの有用な結果をもたらす。

#### 【0048】

## 【数 2】

$$T_r = T_e + \left(\frac{dT_r}{dW}\right) * W \quad (1)$$

$$T_\lambda = T_e + \left(\frac{dT_\lambda}{dW}\right) * W \quad (2)$$

## 【0049】

式(1)及び式(2)において、Wはパターン化ヒータにおいて散逸される電力であり、  
 $(dT_r/dW)$ はパターン化ヒータの電力に対する $T_r$ の感度を表す定数であり、 $(dT_\lambda/dW)$ は、  
 パターン化ヒータの電力に対する実効温度の感度を表す定数である。式(1)は、突き詰めると、  
 熱抵抗が一定であることを表す式、すなわち温度上昇と上記ヒータにおいて散逸される電力との間に線形な関係があることを表す式である。それゆえ、  
 回折格子と環境( $T_e$ )との間の温度差は、熱定数と、回折格子のヒータから環境に流れる全電力(W)との積である。中間点における温度( $T_r$ )を求めると共に、全熱流量(W)、及び熱定数 $(dT_r/dW)$ との相関を知ることによって、環境の温度( $T_e$ )及び回折格子下の温度の両方を計算することができる。式(2)は単に、ヒータによって引き起こされる実効温度( $T_\lambda$ )に換算される、光学フィルタの固有の熱依存性の式である。パターン化ヒータは、均一なヒータよりも効率的に回折格子内の波面を傾斜させるように設計されるため、 $(dT_\lambda/dW)$ は $(dT_r/dW)$ よりも大きいものと予想される。

## 【0050】

$T_r$ を測定しているセンサが、熱流から離れすぎているとき等には、光学チップを設計することはできるが、式(1)及び式(2)の精度が劣化することに留意されたい。本発明によるいくつかの実施形態では、式(1)及び式(2)の精度が、目先の特定の用途によって十分である所定の限度内に入るように、光学設計及び熱設計を行うことができる。たとえば、式(1)及び式(2)から、環境温度範囲全体にわたって約1%を超えるほどに外れないような設計が必要とされることがある。確認は、実験によって行うことができるか、又は光学及び熱モデル化を通じて行うことができる。

## 【0051】

上記の2つの式はそれぞれ3つの変数を有する。すなわち式(1)では $T_r$ 、 $T_e$ 及びW、式(2)では $T_\lambda$ 、 $T_e$ 及びWが存在する。ヒータにおいて散逸される電力Wは、ヒータドライバによって加えられる電圧及び電流をモニタリングする(又は設定する)ことによって直接測定(又は設定する)ことができる。 $T_r$ 及び $T_e$ はいずれも、温度センサによって推定又は測定することができる。実際に、 $T_r$ は、温度センサ225の温度読み値である。 $T_r$ 及びWが与えられると、式(1)から $T_e$ を計算することができる。

## 【0052】

## 【数 3】

$$T_e = T_r - \left(\frac{dT_r}{dW}\right) * W \quad (3)$$

## 【0053】

それゆえ、 $T_e$ は測定される必要はない。 $T_e$ がわかると、式(2)から直接 $T_\lambda$ を計算することができる。これらの2つのステップを1つのステップにまとめると、 $T_r$ から $T_\lambda$ を計算するための式を得ることができる。

## 【0054】

## 【数 4】

$$T_\lambda = T_r - \left(\frac{dT_r}{dW}\right) * W + \left(\frac{dT_\lambda}{dW}\right) * W \equiv T_r + \left(\left(\frac{dT_\lambda}{dW}\right) - \left(\frac{dT_r}{dW}\right)\right) * W \equiv T_r + B * W \quad (3)$$

## 【 0 0 5 5 】

この式に従って温度安定化を実現する際に、Wを測定又は設定することができる。設定点温度（セットポイント温度）と呼ばれ、 $T_s$ を付されることになる、 $T_r$ のための目標値も選択することができる。この実施形態では、 $T_s$ は、均一な回折格子温度を表すのではなく、予想される環境条件下で少なくとも良好に設計するために、温度コントローラによって保持されることになる設定点温度によく似ている。定数（ $dT_r / dW$ ）及び（ $dT_r / dW$ ）は、実験によって求めることができるか、又は、たとえば有限要素熱解析及び光学解析（finite-element thermal analysis及びoptical analysis）を用いることによって正確に推定することができる。こうして、単一のセンサによって与えられる温度読み値 $T_r$ を使用し、ヒータに加えられている電力を知ることによって、式（3）を用いて、回折格子の設計実効温度（及びひいては回折格子の設計中心波長）を保持することができる。動的な負のフィードバックプロセスを用いて、 $T$ （design）、すなわち設計された中心波長に対応する実効温度において回折格子を安定させることができる。1つのそのような過程が以下に説明される。実施形態によっては、フィードバック（帰還）ループはデジタル形式にすることができることに留意されたい。他の実施形態では、上記ループ及びフィードバックプロセスはアナログ形式にすることができるか、又はデジタル形式及びアナログ形式を適切に組み合わせることができる。

10

## 【 0 0 5 6 】

最初に、他の定数及びパラメータを用いて、Wが表される。式（1）はこの関係を与える。

20

## 【 0 0 5 7 】

## 【 数 5 】

$$W = \frac{T_r - T_e}{\left( \frac{dT_r}{dW} \right)} \quad (4)$$

## 【 0 0 5 8 】

この結果を式（2）に代入することができる。

## 【 0 0 5 9 】

## 【 数 6 】

$$T_\lambda = T_e + (T_r - T_e) * \left( \frac{\frac{dT_\lambda}{dW}}{\frac{dT_r}{dW}} \right) \quad (5)$$

30

## 【 0 0 6 0 】

同様に、 $T_r$ は、 $T$ 及び $T_e$ を用いて表すことができる。

## 【 0 0 6 1 】

## 【 数 7 】

$$T_r = T_e + (T_\lambda - T_e) * \left( \frac{\frac{dT_r}{dW}}{\frac{dT_\lambda}{dW}} \right) \quad (6)$$

40

## 【 0 0 6 2 】

安定化制御過程の初めに、初期実効温度 $T$ （1）及び初期全体温度 $T_e$ （1）の推定値として、初期温度センサ測定値 $T_r$ （1）を用いることができ、それは、少なくとも回復過程の初期点として、集積ヒータが起動される前の正確な推定値を生成するはずである。その後、温度コントローラのための初期設定点温度 $T_s$ （1）を、変更された式（6）から計算することができる。

50

【 0 0 6 3 】

【 数 8 】

$$T_s(1) = T_e(1) + (T_\lambda(\text{design}) - T_e(1)) * \left( \frac{\frac{dT_r}{dW}}{\frac{dT_\lambda}{dW}} \right) \quad (7)$$

【 0 0 6 4 】

ただし、 $T_\lambda(\text{design})$  は、回折格子の設計中心波長を達成するために必要とされる実効温度を表す。温度コントローラは、ヒータに電力を加えて、計算された設定点温度  $T_s(1)$  に設定される。これは、センサの温度 ( $T_r$ ) を高め、全体温度 ( $T_e$ ) を通常、それよりも少ない量だけ高める。次に、後続の温度読み値  $T_r(2)$  が温度センサから得られ、 $W(2)$  が測定され、任意選択的に、小信号熱応答時間よりも長いことがある或る時間期間にわたって平均される。その時間における全体温度 ( $T_e(2)$ ) は、変更された式 (1) から計算される。

【 0 0 6 5 】

【 数 9 】

$$T_e(2) = T_r(2) - \left( \frac{dT_r}{dW} \right) * W(2) \quad (8)$$

【 0 0 6 6 】

フィードバックループは、コントローラに、 $T_r$  が  $T_s$  よりも低いときにはヒータに加えらる電力を増加させるように、また、 $T_r$  が  $T_s$  よりも高いときには電力を減少するように指示し、それにより、 $T_r$  を  $T_s$  に向かって変化させる。電力を増減する量を決定する際に、コントローラは、センサ温度が単に設定点温度よりも高いか又は低いだけでなく、それらの温度間の差の大きさ（「比例」）、温度差が如何に速く変化しているか（「導関数」）、最近の温度履歴（「積分」）、並びに加速度及び帯域幅のような他の要因も考慮することができる。ヒータに加えらるることになる電力の量を求める際にこれらの要因を利用するための技法は、PID（比例 - 積分 - 導関数）温度コントローラに関する文献において記述されている。

【 0 0 6 7 】

回折格子の実効温度 ( $T_\lambda(2)$ ) は、式 (2) から得ることができる。

【 0 0 6 8 】

【 数 10 】

$$T_\lambda(2) = T_e(2) + \left( \frac{dT_\lambda}{dW} \right) * W(2) \quad (9)$$

【 0 0 6 9 】

次に、集積ヒータのための第2の設定点温度  $T_s(2)$  を、変更された式 (6) から計算することができる。

【 0 0 7 0 】

【 数 11 】

$$T_s(2) = T_e(2) + (T_\lambda(\text{design}) - T_e(2)) * \left( \frac{\frac{dT_r}{dW}}{\frac{dT_\lambda}{dW}} \right) \quad (10)$$

【 0 0 7 1 】

図 6 A 及び図 6 B に示される、この反復過程のステップは、回折格子を設計実効温度まで動かすと共にその温度に保持するために、絶えず繰り返すことができる。安定した動作

10

20

30

40

50

中に、 $T_r$  及び  $T_s$  は実質的に同じになるはずである。計算された  $T$  と設計  $T$  との差は、用いられる温度安定化方式の性能の目安である。安定化技法は、離散的なデジタル動作として記述されているが、計算及び応答は線形且つ連続的とすることもできる。それゆえ、離散的な又は連続的なアナログ処理によって、等価な動作を実行することができることは、当業者には理解されよう。

#### 【0072】

ここで、1つのさらなる観測が述べられる。集積パターン化ヒータの動作は、そのフットプリントに完全に局在する必要はなく、通常完全には局在しない。それは、回折格子の全ての部分に或る程度まで影響を及ぼす。しかしながら、ヒータの非局在化の効果は概念的には、 $T_e$  に影響を及ぼす数多くの他の環境的な要因に類似である。このため、ヒータの非局在化の効果は、本発明を説明する過程において無視してきた。

10

#### 【0073】

上記の解析を念頭に置いて、ここで、同じ基板上に形成される複数の回折格子（又は他の光学部品、又は複数の光学部品の適切な構成）の事例が解析される。図7は、それぞれが有効なパターン化されたヒータで覆われると共に、1つの温度センサを有する、2つのアレイ導波回折格子701A及び701Bの1つの例示的な組み合わせ700を示す。いずれの回折格子とも同じ基板上に形成される。

#### 【0074】

回折格子701Aは、ヒータ727A及び温度センサ725Aに関連付けることができる。回折格子701Bは、ヒータ727B及び温度センサ725Bに関連付けることができる。図7に示すことができるように、各温度センサは、実質的にその関連付けられる回折格子の局所的な温度に応答するように配置することができる。反対側にある回折格子/センサにおけるヒータのクロスヒーティング効果（たとえば、ヒータ727Bによる回折格子701Aの加熱）が起こり得るが、再び、これらの副次的な効果は、2つの回折格子の全体温度に影響を及ぼす他の要因の中に包含される。したがって、各回折格子は、図4の温度コントローラ400に類似の温度コントローラ、及び図6A及び図6Bの過程600に類似の反復過程を用いて、別個に（すなわち、個別に）安定させることができる。

20

#### 【0075】

クロスヒーティング効果は1つの有益な結果を有する、すなわち2つのヒータ727によって散逸される全電力を減少させる。実際には、2つのヒータ727によって散逸される合成電力は、単一の回折格子/ヒータの組み合わせの電力の2倍よりも著しく小さくすることができる。実際には、2つのヒータの合成電力は、単一の回折格子/ヒータの組み合わせにおいて散逸される電力よりもわずかに大きいだけに行うことができる。

30

#### 【0076】

図8は、2つの関連付けられるヒータ827A及び827Bと共に、1つの基板上に形成される2つのアレイ導波回折格子801A及び801Bの組み合わせ800を示す。組み合わせ800は組み合わせ700に類似であるが、両方の回折格子801A及び801Bの温度を安定させるために、単一の温度センサ825を利用する。温度センサ825は、回折格子801Bに近接して配置されるため、その読み値は、回折格子801Aの温度よりも、回折格子801Bの温度の方を正確に指示する。回折格子801Bは一次回折格子と呼ばれ、回折格子801Aは二次回折格子又は従属回折格子と呼ばれる。

40

#### 【0077】

多回折格子、単一温度センサチップ（基板）の温度を安定させるための方法は、デュアルセンサの事例に類似であるが、1つの違いは、複数の回折格子のうちの1つの回折格子の温度制御が他方の回折格子の制御に依存し、それゆえ、従属回折格子の制御が開ループ過程になることである。

#### 【0078】

さらに進む前に、以下の変数、パラメータ及び定数が定義される。

1.  $T^A$  は回折格子801Aの実効温度である。
2.  $T^B$  は回折格子801Bの実効温度である。

50

3.  $W^A$  はヒータ 827A に与えられ、そこで散逸される電力である。  
 4.  $W^B$  はヒータ 827B に与えられ、そこで散逸される電力である。  
 5.  $dT^A / dW^A$  は、 $W^A$  に対する  $T^A$  の感度である。  
 6.  $dT^B / dW^B$  は、 $W^B$  に対する  $T^B$  の感度である。  
 7.  $T_r$  は温度センサの温度指示である（上記で取り扱われた単一回折格子の事例と同様）。  
 8.  $dT_r / dW^A$  は、電力  $W^A$  に対する温度センサの温度  $T_r$  の感度である。  
 9.  $dT_r / dW^B$  は、電力  $W^B$  に対する温度センサの温度  $T_r$  の感度である。

【0079】

実験結果及び有限要素熱及び光学解析は、いくつかの要因の間の有用な関係をもたらす

10

【0080】

【数12】

$$T_\lambda^A - T_\lambda^B = \left( \frac{dT_\lambda^A}{dW^A} \right) * W^A - \left( \frac{dT_\lambda^B}{dW^B} \right) * W^B \quad (11)$$

【0081】

ただし、定数  $dT^A / dW^A$  及び  $dT^B / dW^B$  は、実験によって、又は有限要素熱及び光学解析を用いることによって推定することができる。回折格子 801A を従属回折格子であるものと選択しているとき、ここで、式(11)を整理し直して、 $W^A$  を  $W^B$  の関数及び静的なパラメータの関数として表すことができ、以下の従属性を得ることができる。

20

【0082】

【数13】

$$W^A = \frac{T_\lambda^A - T_\lambda^B + \left( \frac{dT_\lambda^B}{dW^B} \right) * W^B}{\left( \frac{dT_\lambda^A}{dW^A} \right)} \quad (12)$$

30

【0083】

この実施形態では、一回折格子を安定させるために用いられる駆動電力  $W^B$  は、他の環境的な影響と、一回折格子 801B の温度へのヒータ 827A の影響とを一纏めにして、単一回折格子の事例の場合に先に説明された方法に従って制御することができる。したがって、駆動電力  $W^B$  は、温度コントローラによって直接設定されるか、又は、たとえば一回折格子 801B の中に流れる電流を指示する電流センサを用いて測定することができるため、入手することができる。 $W^A$  を求めるために必要である式(12)の全ての他の項も入手することができる。(1)  $T^A$  及び  $T^B$  のために用いられる値は、各設計中心波長を達成するために必要とされる個々の回折格子の実効温度であり、それゆえ、 $T^A$  (design) 及び  $T^B$  (design) によって指示される。(2) 応答係数  $dT^A / dW^A$  及び  $dT^B / dW^B$  は、実験によって求められるか、又は意図した動作を得るための(光学及び熱)モデル化を通じて求められるデバイスの定数である。 $W^B$  の動作点毎に、以下の式を用いて、従属回折格子 801A のヒータ 827A に与え、そこで散逸するのに適した電力を求めることができる。

40

【0084】

【数 1 4】

$$W^A = \frac{T_\lambda^A(\text{design}) - T_\lambda^B(\text{design}) + \left(\frac{dT_\lambda^B}{dW^B}\right) * W^B}{\left(\frac{dT_\lambda^A}{dW^A}\right)} \quad (14)$$

【0085】

本明細書は、例示のためだけにかなり詳細に、本発明の光デバイスと、そのデバイスを熱的に同調させ、安定させるための方法とを説明する。全体として本発明の具体的な実施形態も、その特徴の実施形態も、本発明の包括的な原理を制限しない。詳細には、本発明は、アレイ導波回折格子には限定されず、他の光デバイスも含む。また、本発明は、説明される特定の温度コントローラ、ヒータ、温度センサ及び他の部品には限定されず。本発明の根底を成す原理の全ての応用形態に及ぶ。本明細書において説明される具体的な特徴は、記載されるような本発明の精神及び範囲から逸脱することなく、或る実施形態においては用いられることがあるが、他の実施形態では用いられないこともある。さらに、そのデバイスの波長応答を安定させるために説明された具体的な反復過程は、本発明を制限する必要はない。他の反復過程を用いて、その設計中心波長において光学部品を同調させ、安定させることができる。異なる物理的な部品配置、及び異なるステップのシーケンスも、本発明の意図した範囲内に入り、2つの回折格子を用いる実施形態は、3つ以上の回折格子を用いる実施形態にも同じく当てはまる原理を例示することを意図している。本発明の装置の実施形態に関連する説明及び特許請求の範囲では、「結合する」、「接続する」及び類似の用語は、その語形変化の形態素と共に、必ずしも何も介さずに、すなわち直接接続することを意味するのではなく、その意味の中に、介在する要素を通じて接続することを含むことにも留意されたい。本明細書では、パラメータ又は量を参照しながら用いられる「実質的に」及び類似の表現は、いずれかの方向において、約1桁（10倍）まで変化することを意味する。同様に、本明細書において利用される場合、用語「範囲内」又は「間」は、用語「範囲内」又は「間」の後に列挙される値によって定義される範囲を含み、そのような範囲内に含まれる、ありとあらゆる部分的な範囲を含み、そのような各部分範囲は、第1の端点として、そのような範囲内の任意の値を有し、第2の端点として、第1の端点よりも大きく且つそのような範囲内にある任意の値を有するものと定義される。上記の開示において、数多くのさらなる変更が意図されており、事例によっては、本発明のいくつかの特徴が、他の特徴が対応して用いられない場合であっても用いられることになることは当業者には理解されよう。それゆえ、図示される例は、本発明の限界及び範囲、並びに本発明に与えられる法的な保護を定めることはなく、その役割は、特許請求の範囲及びその均等物によって果たされる。

【図面の簡単な説明】

【0086】

【図1】一つのアレイ導波回折格子を示す図である。

【図2A】本発明による、温度制御式のアレイ導波回折格子の平面図である。

【図2B】線A-A'に沿って切断された図2Aの温度制御式アレイ導波回折格子の断面図である。

【図3】本発明による、複数の導波路を覆う素子を有する集積パターン化ヒータを有するアレイ導波回折格子の平面図である。

【図4】本発明による、アレイ導波回折格子のヒータを駆動するための温度制御システムのハイレベルな簡略化された概略ブロック図である。

【図5】本発明による、局在する温度センサを有するアレイ導波回折格子の平面図である。

【図6A】本発明による、アレイ導波回折格子の温度を安定させるための反復過程の選択されたステップを示す図である。

10

20

30

40

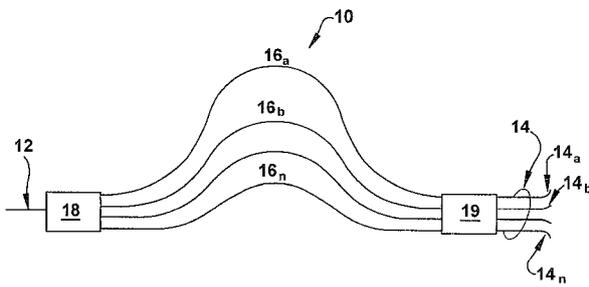
50

【図6B】本発明による、アレイ導波回折格子の温度を安定させるための反復過程の選択されたステップを示す図である。

【図7】それぞれ1つのパターン化ヒータで覆われると共に、1つの温度センサを有する、2つのアレイ導波回折格子の組み合わせのハイレベルな簡略化された概略ブロック図である。

【図8】それぞれ1つのパターン化ヒータで覆われると共に、単一の温度センサを共用する、2つのアレイ導波回折格子の組み合わせのハイレベルな簡略化された概略ブロック図である。

【図1】



【図2A】

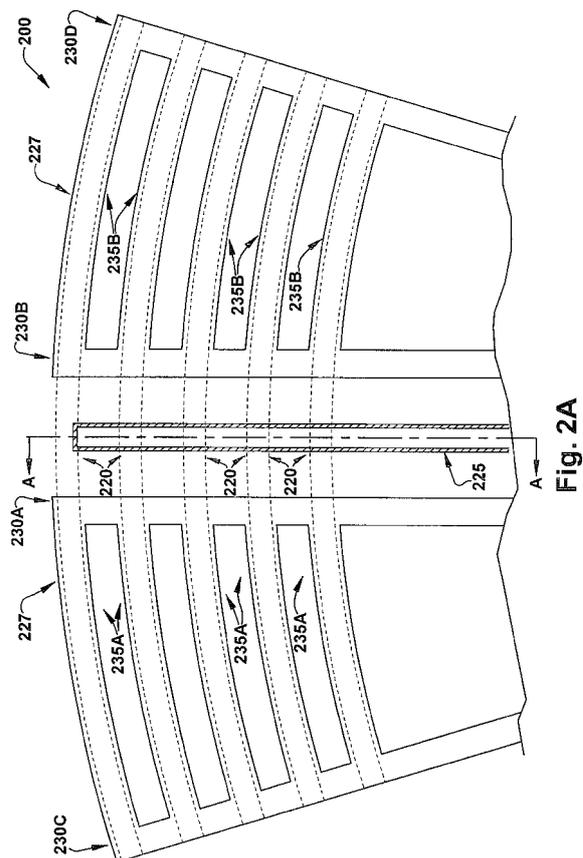


Fig. 2A

【 図 2 B 】

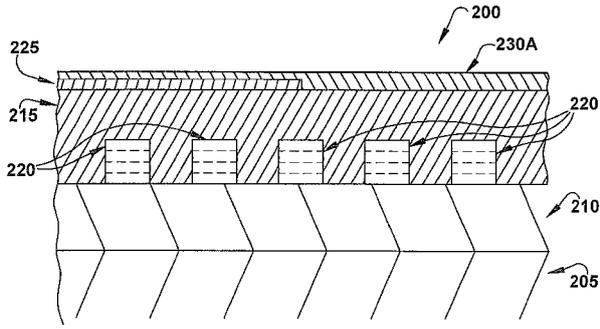


Fig. 2B

【 図 3 】

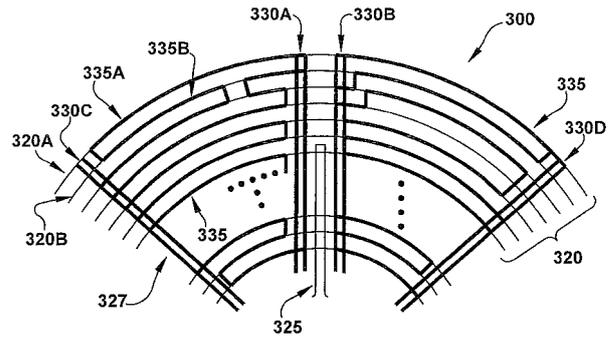


Fig. 3

【 図 4 】

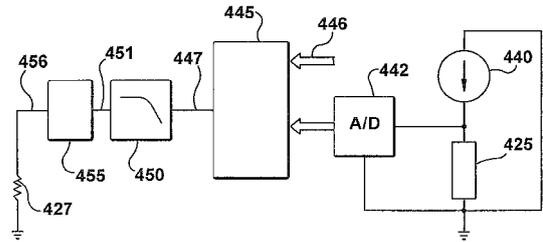


Fig. 4

【 図 5 】

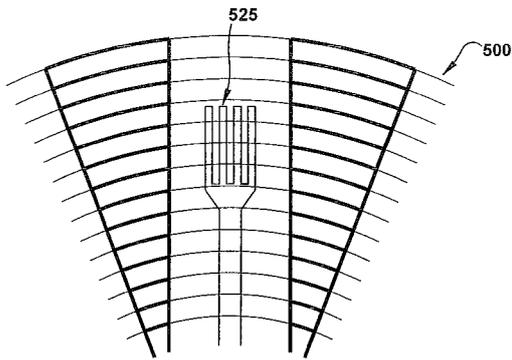


Fig. 5

【 図 6 A 】

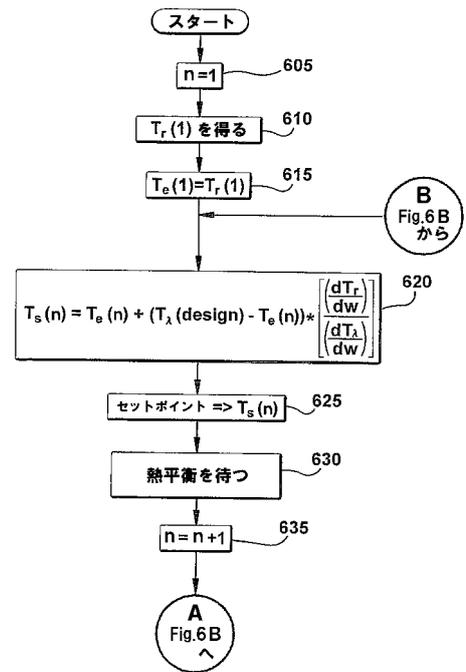


Fig. 6A

【 図 6 B 】

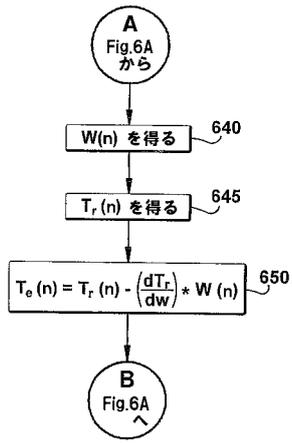
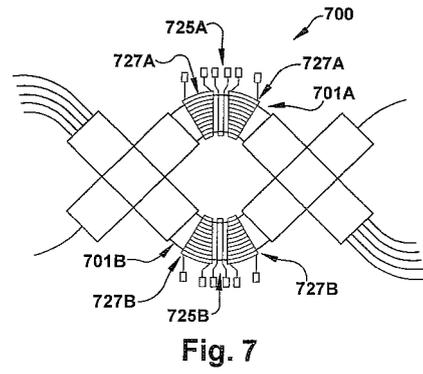
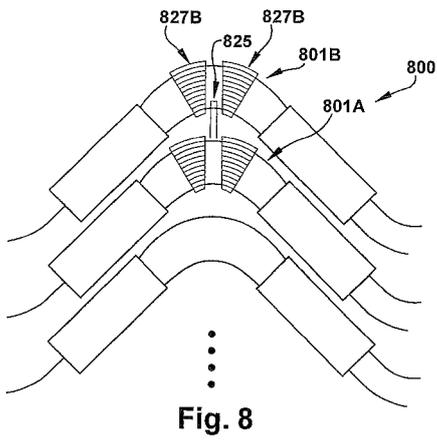


Fig. 6B

【 図 7 】



【 図 8 】



## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US05/47513	
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC: G02B 6/12( 2006.01),6/26( 2006.01),6/28( 2006.01),6/34( 2006.01),6/42( 2006.01)  USPC: 385/14,24,31,37 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC			
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 385/14,24,31,37  Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched EAST  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) wavelength\$5 near\$5 respons\$5, temperature near\$4 (sens\$5 or detect\$5), control\$5, heat\$6			
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>			
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	
X	US 5,999,671 (JIN et al) 7 December 1999 (07.12.1999), figures 1, 2A, 4, column 4, line 20, through column 5, line 29	1-51	
A	US 6,853,759 B2 (SAMARA-RUBIO et al) 8 February 2005 (08.02.2005), abstract, figure 3, column 5, line 33, through column 6, line 31.	1-51	
A	US 6,681,073 B2 (CHAN et al) 20 January 2004 (20.01.2004), figure 1, column 4, line 51, through column 5, line 13.	1-51	
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.			
* Special categories of cited documents:			
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E"	earlier application or patent published on or after the international filing date	"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&"	document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search 07 August 2006 (07.08.2006)		Date of mailing of the international search report 28 SEP 2006	
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (571) 273-3201		Authorized officer Sung Pak Telephone No. (571) 272-2353	

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ヤン, ミン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 8 8 , プレザントン, エルスナブ コート 2 8 0  
9

(72)発明者 ティックナー, アンソニー ジェイ .  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 1 4 , クパチーノ, バランカ ドライヴ 1 0 9 5  
2

(72)発明者 ホー, カルヴィン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 2 3 , サンノゼ, タンデラ アヴェニュー 5 8  
1 8

(72)発明者 シュー, ハオ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 1 , サンノゼ, メイン エントランス ドライ  
ヴ 1 4 2 9

(72)発明者 ウィーヴァー, ジェイソン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 8 , サンノゼ, デル アヴィオン レイン 9  
1 7

(72)発明者 ターター, トーマス エス .  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 2 9 , サンノゼ, ベントーク レイン 1 1 1 0

(72)発明者 ラム, ジェイン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 1 , サンノゼ, オヤマ プレイス 1 4 8 7

Fターム(参考) 2H079 AA06 AA12 BA04 CA07 DA17 DA22 EA03 EB27 FA01 HA04  
2H147 BE04 DA11 EA02D EA13C EA14D FA02 FA06 FA09 FA17 FC05  
GA01