

(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2015-505995

(P2015-505995A)

(43) 公表日 平成27年2月26日(2015.2.26)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02F 1/13 (2006.01)	G02F 1/13 505	2H088
G02F 1/1347 (2006.01)	G02F 1/1347	2H189
G02F 1/1337 (2006.01)	G02F 1/1337	2H191
G02F 1/1335 (2006.01)	G02F 1/1335	2H290
G02F 1/31 (2006.01)	G02F 1/31	2K102
審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 33 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2014-547708 (P2014-547708)
 (86) (22) 出願日 平成25年1月30日 (2013.1.30)
 (85) 翻訳文提出日 平成26年6月18日 (2014.6.18)
 (86) 国際出願番号 PCT/CN2013/071130
 (87) 国際公開番号 W02013/113278
 (87) 国際公開日 平成25年8月8日 (2013.8.8)

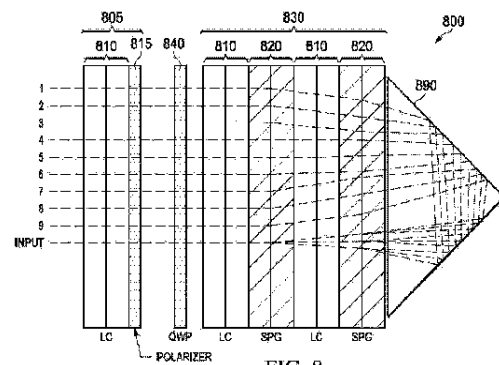
(71) 出願人 503433420
 華為技術有限公司
 HUAWEI TECHNOLOGIES
 CO., LTD.
 中華人民共和国 518129 広東省深
 ▲チェン▼市龍崗区坂田 華為総部▲ベン
 ▼公樓
 Huawei Administrati
 on Building, Bantia
 n Longgang District
 , Shenzhen 518129 P
 . R. China
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長を選択的に切り替える方法および装置

(57) 【要約】

波長選択スイッチ(WSS)を実現する装置および方法の実施形態が提供される。前記実施形態は、切り替え可能な偏光回折格子(SPG)セルおよびLCセルの複合素子、ならびにポリマー液晶偏光回折格子(PPG)セルおよびLCセルの複合素子を用いて1×N型WSSシステムを実現する。具体的な光スイッチは、液晶セルと、前記液晶セルに隣接するSPGセルとを含む。前記SPGは、2つの光配向層間の液晶材料と、各光配向層を覆う電極層と、各電極層を覆うガラス基板とを含む。具体的な方法は、偏光回折格子で回折させる前に、入射光ビームを円偏光に偏光させる工程を有する。前記の偏光した入射光ビームは、前記入射光ビームの前記円偏光に応じた回折次数及びかつ前記偏光回折格子の内部に形成されるホログラムパターン方向に対応する所定の角度に回折される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

液晶セルと、
前記液晶セルに隣接する切り替え可能な偏光回折格子（SPG）セルと
を備え、

該SPGは、

第1のガラス基板と、
前記第1のガラス基板を覆う第1の電極層と、
前記第1の電極層を覆う光配向層と、
前記光配向層を覆う液晶材料と、
前記液晶材料を覆う第2の光配向層と、
前記第2の光配向層を覆う第2の電極層と、
前記第2の電極層を覆う第2のガラス基板と

を含む、

前記第1の光配向層および前記第2の光配向層は、円偏光の回転方向が互いに反対である2つの干渉光ビームを使用して露光されることにより物理的に変化した感光性ポリマーを含む、

光スイッチ。

【請求項 2】

第2の液晶セルおよび偏光板を含む可変光減衰器（VOA）と、
前記VOAと前記液晶セルとの間に配置される1/4波長板と、
前記SPGセルの後段側に配置され、かつ前記液晶セルの反対側にあるプリズムまたはミラーと、

前記SPGセルと前記プリズムまたはミラーとの間に配置される1ペア以上の更に別の液晶セルおよび更に別の対応するSPGセルと

を更に備え、

前記光スイッチは、1つの共通ポートを 3^N 個の個別ポートに光接続するように構成される 1×3^N 型光スイッチで、

ここでNは前記光スイッチの液晶セルおよび対応するSPGセルからなる対の数である

、

請求項1に記載の光スイッチ。

【請求項 3】

第2の液晶セルおよび偏光板を含む可変光減衰器（VOA）と、
前記SPGセルの後段側に配置され、かつ前記液晶セルの反対側にあるプリズムまたはミラーと、

前記SPGセルと前記プリズムまたはミラーとの間に配置される1つ以上の更に別のSPGセルと

を更に備え、

前記光スイッチは、1つの共通ポートを $2^{N+1} - 1$ 個の個別ポートに光接続するように構成される $1 \times (2^{N+1} - 1)$ 型光スイッチで、

ここでNは前記光スイッチのSPGセルの数である、

請求項1に記載の光スイッチ。

【請求項 4】

前記液晶セルは、入射光偏光を直線偏光から右円偏光または左円偏光に変換する切り替え可能な1/4波長板として構成される、請求項3に記載の光スイッチ。

【請求項 5】

前記液晶セルおよび偏光板を含む可変光減衰器（VOA）と、
前記VOAと前記SPGセルとの間に配置される1/4波長板と、
前記SPGセルの後段側に配置され、かつ前記VOAの反対側にあるプリズムまたはミラーと、

10

20

30

40

50

前記 S P G セルと前記プリズムまたはミラーとの間に配置される 1 つ以上の更に別の S P G セルと

を更に備え、

前記光スイッチは、1 つの共通ポートを 2^N 個の個別ポートに光接続するように構成される 1×2^N 型光スイッチで、

ここで N は前記光スイッチの S P G セルの数である、

請求項 1 に記載の光スイッチ。

【請求項 6】

前記液晶セルおよび前記 S P G セルは共に、波長チャネル数に対応する複数の画素を含み、

該複数の画素は、かつ光スイッチポートに対応する光スイッチを通過する複数の平行ビーム光路の方向に対して垂直に配列され、

前記光スイッチは、等しい距離を、前記光スイッチからの平行出力光ビームの間に有するように設計される、

請求項 1 に記載の光スイッチ。

【請求項 7】

1 つ以上の入射光ビームを前記液晶セルおよび前記 S P G セルに送信するとともに前記液晶セルおよび前記 S P G セルから受信するファイバアレイと、

前記光路上にあって、前記ファイバアレイの後段側に配置されるマイクロレンズアレイと、

前記光路上であって前記マイクロレンズアレイの後段側に配置されるビーム偏向器と、

前記光路上であって前記ビーム偏向器の後段側に配置される $1/2$ 波長板アレイと、

前記光路上であって前記 $1/2$ 波長板アレイと前記 S P G セルを有する前記液晶セルとの間に配置されるシリンドリカルレンズと、

前記光路上で前記シリンドリカルレンズの後方に位置する前記液晶セルおよび前記 S P G セルに対向し、かつ前記シリンドリカルレンズを通過する光ビームを反対方向に反射して前記シリンドリカルレンズを通過させるように配置されるシリンドリカル反射ミラーと、

前記光路上で前記シリンドリカルレンズの後方に位置する前記シリンドリカル反射ミラーに対向し、かつ前記シリンドリカルレンズを通過する光ビームを前記シリンドリカルレンズへ戻るように回折させるように配置される回折格子と

を更に備える、請求項 1 に記載の光スイッチ。

【請求項 8】

前記 S P G セルは、電圧が印加されていない状態または第 1 の電圧が前記第 1 の電極層と前記第 2 の第 1 の電極層との間に印加されている状態で、円偏光を所定方向に有する入射光ビームを回折させ、かつ前記回折入射光ビームの円偏光の回転方向を反転させるように構成される、請求項 1 に記載の光スイッチ。

【請求項 9】

前記 S P G セルは、第 2 の電圧が前記第 1 の電極層と前記第 2 の第 1 の電極層との間に印加されている状態で、回折も偏光の変化も起こすことなく入射光ビームに前記 S P G セルを通過させるように構成される、請求項 8 に記載の光スイッチ。

【請求項 10】

前記液晶セルは、電圧が印加されていない状態または第 1 の電圧が前記液晶セルの両端に印加されている状態で、円偏光の回転方向を反転させた後に、前記円偏光を有する入射光ビームを通過させて前記 S P G セルに到達させるか、あるいはそのかわりに、第 2 の電圧が前記液晶セルの両端に印加されている状態で、前記円偏光の回転方向を変化させることなく前記入射光ビームを通過させるように構成される、請求項 1 に記載の光スイッチ。

【請求項 11】

液晶セルと、

前記液晶セルに隣接するポリマー液晶偏光回折格子 (P P G) セルと

を備え、該 P P G は、
ガラス基板と、

前記ガラス基板を覆い、かつ円偏光の回転方向が互いに反対である 2 つの干渉光ビームを使用して露光されることにより物理的に変化している感光性ポリマーを含む光配向層と、

前記光配向層を前記ガラス基板の反対側で覆い、かつ均一光ビームを用いる照射により物理的に変化した重合液晶層と

を含む、光スイッチ。

【請求項 1 2】

第 2 の液晶セルおよび偏光板を含む可変光減衰器 (V O A) と、

10

前記 S P G セルの後段側に配置され、かつ前記液晶セルの反対側にあるプリズムまたはミラーと、

前記 P P G セルと前記プリズムまたはミラーとの間に配置される 1 対以上の更に別の液晶セルおよび更に別の対応する P P G セルからなる対と

を更に備え、

前記光スイッチは、1 つの共通ポートを 2^N 個の個別ポートに光接続するように構成される 1×2^N 型光スイッチで、

ここで N は前記光スイッチの液晶セル群および対応する P P G セルからなる対の数である、

請求項 1 1 に記載の光スイッチ。

20

【請求項 1 3】

前記液晶セルおよび前記 P P G セルは共に、波長チャネル数に対応する複数の画素を含み、

該複数の画素は、光スイッチポートに対応する前記光スイッチを通過する複数の平行ビーム光路の方向に対して垂直に配列され、

前記光スイッチは、等しい距離を、前記光スイッチからの平行出力光ビーム群間に有するように設計される、請求項 1 1 に記載の光スイッチ。

【請求項 1 4】

1 つ以上の入射光ビームを前記液晶セルおよび前記 P P G セルに送信するとともに、前記液晶セルおよび前記 P P G セルから受信するファイバアレイと、

30

前記光路上であって前記ファイバアレイの後段に配置されるマイクロレンズアレイと、

前記光路上であって前記マイクロレンズアレイの後段側に配置されるビーム偏向器と、

前記光路上であって前記ビーム偏向器の後段側に配置される $1/2$ 波長板アレイと、

前記光路上であって前記 $1/2$ 波長板アレイと前記 P P G セルを有する前記液晶セルとの間に配置されるシリンドリカルレンズと、

前記光路上で前記シリンドリカルレンズの後方に位置する前記液晶セルおよび前記 S P G セルに対向し、かつ前記シリンドリカルレンズを通過する光ビームを反対方向に反射して前記シリンドリカルレンズを通過させるように配置されるシリンドリカル反射ミラーと

、

前記光路上で前記シリンドリカルレンズの後方に位置する前記シリンドリカル反射ミラーに対向し、かつ前記シリンドリカルレンズを通過する光ビームを前記シリンドリカルレンズへ戻るように回折させるように配置される回折格子と

40

を更に備える、請求項 1 1 に記載の光スイッチ。

【請求項 1 5】

前記液晶セルは、電圧が印加されていない状態、または第 1 の電圧が前記液晶セルの両端に印加されている状態で、前記円偏光の回転方向を反転させた後に、円偏光を有する入射光ビームを通過させて前記 P P G セルに到達させるか、あるいはその代わりに、第 2 の電圧が前記液晶セルの両端に印加されている状態で、前記円偏光の回転方向を反転させることなく前記入射光ビームを通過させるように構成される、請求項 1 1 に記載の光スイッチ。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光スイッチに関するものであり、特に波長を選択的に切り替える装置および方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光伝送ネットワーク機器の場合、再構築可能な光挿入／分岐マルチプレクサ（ROADM）を使用すると、ネットワーク能力を柔軟に拡張することができ、運用コストを低減することができる。波長選択スイッチ（WSS）は、現在のROADM技術を用いる場合の1つの選択肢である。1×N型WSS（波長選択スイッチ）の場合、1は共通（COM）ポートであり、Nは分岐ポート数を表している。WSS（波長選択スイッチ）が動作すると、WDM信号群がCOMポートから入力されると、これらの信号は光波長ごとに分離され、次いで、システム要件に従って、各波長はN個の分岐ポートのうちの1つの分岐ポートにルーティングされる。逆に、これらの光信号は、N個の分岐ポートからの入力として受信することができ、COMポートからの出力として送信することができる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

ROADMは、コストが高く付き、かつサービスを中断する「フォークリフト）」アップグレードに頼ることなく、容量を必要に応じて柔軟に増加させる自動機構を提供する。ROADMネットワークの利点は、ROADMネットワークが、必要なときにどの場所でも、かつ如何なるときでも、下層ネットワークが、増大したトラフィックを自動的に補償する状態を確保しながら、容量を動的に増加させることができることである。これにより、手動調整または大規模なアップグレードが不要となる。ROADMは、挿入／分岐機能を複数の方向に複数の波長チャネルについて提供することができるので、ネットワークリング群間の多方向相互接続を実現し、メッシュ型ネットワークを構築するのに適している。

【課題を解決するための手段】

【0004】

1つの実施形態によれば、光スイッチは、液晶セルと、前記液晶セルに隣接する切り替え可能な偏光回折格子（SPG）セルとを含む。前記SPGは、第1のガラス基板と、前記第1のガラス基板を覆う第1の電極層と、前記第1の電極層を覆う光配向層と、前記光配向層を覆う液晶材料と、前記液晶材料を覆う第2の光配向層とを含む。前記第1の光配向層および前記第2の光配向層は、円偏光の回転方向が互いに反対である2つの干渉光ビームを使用して露光されることにより物理的に変化した感光性ポリマーを含む。前記SPGは更に、前記第2の光配向層を覆う第2の電極層と、前記第2の電極層を覆う第2のガラス基板とを含む。

【0005】

別の実施形態によれば、光スイッチは、液晶セルと、前記液晶セルに隣接するポリマー液晶偏光回折格子（PPG）セルとを含む。前記PPGは、ガラス基板と、前記ガラス基板を覆い、かつ円偏光の回転方向が互いに反対である2つの干渉光ビームを使用して露光されることにより物理的に変化する感光性ポリマーを含む光配向層と、前記光配向層を前記ガラス基板の反対側で覆い、かつ均一光ビームを用いる照射により物理的に変化した重合液晶層とを含む。

【0006】

更に別の実施形態によれば、偏光回折格子を含む光スイッチを動作させる方法は、入射光ビームを円偏光に偏光させる工程と、前記偏光光ビームを前記偏光回折格子に誘導する工程と、前記偏光回折格子で、前記偏光入射光ビームを、前記入射光ビームの前記円偏光に応じた回折次数及び2つの干渉光ビームを用いて形成される、前記偏光回折格子の内部

10

20

30

40

50

に形成されるホログラムパターン方向に対応する所定の角度で、回折させる工程とを含む。

【 0 0 0 7 】

本発明および本発明の利点を更に完全に理解するために、次に以下の説明を添付の図面と併せて参照する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図 1 a】切り替え可能な偏光回折格子 (S P G) セルの形成プロセスを示している。

【図 1 b】切り替え可能な偏光回折格子 (S P G) セルの形成プロセスを示している。

【図 2 a】電圧が印加されていない状態の S P G セルを示している。

10

【図 2 b】電圧が印加されている状態の S P G セルを示している。

【図 3 a】S P G セルの異なる動作モードを示している。

【図 3 b】S P G セルの異なる動作モードを示している。

【図 3 c】S P G セルの異なる動作モードを示している。

【図 4 a】ポリマー液晶偏光回折格子 (P P G) セルの形成プロセスを示している。

【図 4 b】ポリマー液晶偏光回折格子 (P P G) セルの形成プロセスを示している。

【図 4 c】ポリマー液晶偏光回折格子 (P P G) セルの形成プロセスを示している。

【図 4 d】ポリマー液晶偏光回折格子 (P P G) セルの形成プロセスを示している。

【図 5 a】P P G セルの異なる動作モードを示している。

【図 5 b】P P G セルの異なる動作モードを示している。

20

【図 6】波長選択スイッチ (W S S) の具体的な光学系を示している。

【図 7 a】液晶 (L C) セルおよび S P G セルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 7 b】液晶 (L C) セルおよび S P G セルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 7 c】液晶 (L C) セルおよび S P G セルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 7 d】液晶 (L C) セルおよび S P G セルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 7 e】液晶 (L C) セルおよび S P G セルの複合素子の異なる動作モードを示している。

30

【図 7 f】液晶 (L C) セルおよび S P G セルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 7 g】液晶 (L C) セルおよび S P G セルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 7 h】液晶 (L C) セルおよび S P G セルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 8】L C セルおよび S P G セルの複合素子を用いる具体的な光スイッチエンジンを示している。

【図 9】L C セルおよび S P G セルの複合素子を用いる別の具体的な光スイッチエンジンを示している。

40

【図 1 0】L C セルおよび S P G セルの複合素子を用いる更に別の具体的な光スイッチエンジンを示している。

【図 1 1 a】L C セルおよび P P G セルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 1 1 b】L C セルおよび P P G セルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 1 1 c】L C セルおよび P P G セルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 1 1 d】L C セルおよび P P G セルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 1 2】L C セルおよび P P G セルの複合素子を用いる具体的な光スイッチエンジンを示している。

【図 1 3】光スイッチエンジンを、L C セルおよび S P G セルを用いて動作させる具体的

50

な方法を示している。

【図 1 4】光スイッチエンジンを、LCセルおよびPPGセルを用いて動作させる具体的な方法を示している。

【発明を実施するための形態】

【0009】

現時点で好適な実施形態を構成し、使用する手法について以下に詳細に説明する。しかしながら、本発明は、非常に多岐に亘る特定の状況で具体化することができる多くの適用可能な革新的なコンセプトを提供することを理解されたい。説明する特定の実施形態は、本発明を構成し、使用するための特定のやり方を単に例示しているに過ぎず、本発明の範囲を限定するものではない。

10

【0010】

波長選択スイッチ(WSS)製品に現在使用されている技術として、微小電気機械システム(MEMS)、液晶オンシリコン(LCOS)、くさび型結晶を備える液晶(LC)、およびデジタルマイクロミラー素子(DMD)を挙げることができる。これらの技術の場合、これらの光学系は、光スイッチエンジンが異なる以外は、互いに同様とすることができる。

【0011】

MEMS(微小電気機械システム)では、これらの波長は、回折格子によりそれぞれ異なるチャネルへ向かうように回折されて、次いで、各波長は、対応するMEMS反射ミラーに入射する。各MEMS反射ミラーに加わる電圧を制御することにより、ミラーの回転角を制御して、光反射角を制御することができる。ネットワークの要件に従って、各波長を所定の角度に反射することができる。複数のチャネルから同じ角度に反射される波長ビームは、回折格子を2回目に通過した後に、回折されて1つのビームになることができ、次いで、出力ポートへ入射して結合することができる。切り替え時に光減衰量を制御し、かつヒットレス機能を実現するために、各MEMSミラーは、2つの回転方向を有し、一の回転でポート切り替えを行い、他の回転で減衰量およびヒットレス機能を制御する。MEMS系WSSは、光学系が単純であり、性能が良好であるという利点を有する。しかしながら、MEMS系WSSは、比較的低い歩留まりに起因するMEMSチップ形成に要する高コスト、MEMSミラーに対する高電圧駆動要件に起因する電子素子に要する高コスト、非常に多くのポートを実現する難しさ、および柔軟なグリッド(Flexgrid)機能を設計する難しさといった幾つかの不具合を有する。

20

30

【0012】

LCOSは、WSS(波長選択スイッチ)システムに使用される別の技術である。LCOSは、ガラス基板とシリコン背面との間に配置されるLC層から成る。LCOS系WSSでは、回折格子により分離される各波長光は、LCOSパネルに入射し、M×N画素に照射される。これらの画素に加わる電圧を制御することにより、入射光ビームが所定の角度に回折されるようなLC(液晶)位相回折格子を形成することができる。LC(液晶)回折格子ピッチを変えることにより、異なる回折角度が得られる。従って、ある波長光についてLC(液晶)位相回折格子ピッチを制御することにより、光ビームを所定の出力ポートにルーティングすることができる。LCOS系WSSは、光学系が単純である、多くのポート数が容易に実現される、柔軟なグリッド機能が容易に実現されるといった幾つかの利点を有する。不具合としては、電子駆動方式が複雑であること、制御ソフトウェアが極めて複雑であること、低クロストークを実現することが困難であること、および温度に対する感度が非常に高いことを挙げることができる。

40

【0013】

WSS(波長選択スイッチ)に使用される別の技術が、結晶ウェッジを備えるLCである。結晶ウェッジを備えるLCを用いたWSS設計は、2009年3月3日に発行され、「Apparatus And Method for Optical Switching with Liquid Crystals And Birefringent Wedges(液晶および複屈折結晶ウェッジを用いた光スイッチング装置および方

50

法)」と題する米国特許第7,499,608号明細書に記載されている。このようなWSSのスイッチエンジンは、出力ポートの必要数によって異なるが、数段のLCセルおよびウェッジプレート複合素子から成る。各段では、LCセルは、偏光を切り替えるのに使用され、またウェッジプレートは、光を、入射光の偏光によって異なるように2つの方向に屈折させるのに用いられる。その結果、 1×2 型光スイッチが得られる。従って、N段を積層すると、 1×2^N 型光スイッチが得られる。使用するLCセルは、必要な光チャネル数によって定義されるM個の画素に分離される。LC画素に印加される電圧を制御することにより、対応する波長光を所定の出力ポート群にルーティングすることができる。このようなWSSは、駆動用電子素子が簡単であり、高い耐振動性を示し、高い信頼性を示すという利点を有する。不具合として、高い材料コストに起因する高コスト、複雑な素子組み立てプロセスに起因する比較的低い歩留まり、および非常に多いポート数を実現する難しさを挙げるることができる。

10

【0014】

DMD（デジタルマイクロミラー素子）技術も、WSSシステムに使用される。このようなシステムでは、各波長光は、幾つかのDMD/MEMSミラーに入射する。これらのミラーの回転角を制御することにより、光ビームを所定の角度に誘導することができる。これらのミラーは、2つしか偏向位置を有しないので、1つのDMDチップ系WSSは、 1×2 型スイッチしか実現できない。WSSのスイッチポート数を増やすためには、より多くのDMDチップが必要になり、光学系設計が高コストになり、かつ非常に難しくなる。

20

【0015】

上に説明したように、既存の技術を用いるWSSシステムは、駆動用電子素子が複雑なソフトウェアを備えること、材料が高コストであること、振動耐性が低いこと、および非常に多くのポートに拡張することが困難であることを含む不具合を有している。本明細書において記載されるのは、WSS（波長選択スイッチ）を実現する具体的なシステムおよび方法である。異なる実施形態では、切り替え可能な偏光回折格子（SPG）セルおよびLCセルの複合素子、ならびにポリマー液晶偏光回折格子（PPG）セルおよびLCセルの複合素子を用いて、上に挙げたシステムの不具合のうちの少なくとも幾つかの不具合を解決する $1 \times N$ 型WSSシステムを実現する。

【0016】

図1aおよび図1bは、SPGセルの形成プロセス100を示している。従来のLCセルを形成する際、LC配向層は、当該LCを挟み込むために使用される2枚の基板を被覆する2つのポリマー層をラビングまたは露光することにより形成される。SPGセルの形成プロセス100は、LC配向層を形成する工程に関して異なっている。SPGセルの形成プロセス100の第1の工程（図1a）では、2つの感光性ポリマー層102が2つのガラス基板106をそれぞれ被覆し、次いで、2枚のガラス基板を合体させて、LCを充填するためのギャップを残す。電極（導体）層104が更に、各感光性ポリマー層102と各感光性ポリマー層102に対応するガラス基板106との間に付加される。次に（図1b）、円偏光の回転方向が互いに反対である（それぞれ、右円偏光および左円偏光を有する）2つの干渉紫外（UV）光ビーム192が、（適切な入射角で）2つのポリマー層102を露光するのに用いられ（例えば、これらのガラス基板106を介して）、ホログラフィックパターンがこれらのポリマー層102に形成される。この干渉ビーム露光がSPGセルの各面に対して行われることで、配向層が感光性ポリマー層102から形成される。LC108がギャップに充填され、2枚のガラス基板の間に挟み込まれる場合、LC108の分子は、この段階でLC配向層として機能するこれらの感光性ポリマー層102の上に形成されたホログラムパターンと位置合わせされるように配向される。

40

【0017】

図2aおよび図2bはそれぞれ、電圧が印加されている状態および電圧が印加されていない状態のSPGセル200を示している。SPGセル200は、形成プロセス100を使用して形成することができる。電圧が電極層204に印加されていない状態（図2a）

50

では、SPGセル200のLC208は回折格子を形成し、この回折格子によって、ガラス基板206のいずれの部分への入射光も、これらの配向層202を形成するための2本の露光ビームの角度で決まる方向（形成プロセス100中に決まる方向）に回折される。ゼロではない電圧がこれらの電極層204に電圧が印加されると（図2b）、LC208分子は、印加電圧によって生じる電界に位置合わせされるように配向するようになるので、LC回折格子の影響（配向層202によって生じる）が打ち消されてなくなり、ガラス基板206のいずれの部分への入射光も、回折されなくなる。LC回折格子の影響を打ち消すためには、十分大きな電圧が、例えば閾値電圧（ V_{th} ）を超える電圧が必要になる。

【0018】

上に説明したSPGセルは、普通の回折格子とは異なる0次および ± 1 次の3つの回折次数を有する。図3a～図3cは、SPGセルのそれぞれ異なる動作モード300を示している。各動作モードは、1つの回折次数に対応し、各次数の光は、異なる角度に回折される。十分大きな電圧がSPGセルに印加されている状態（図3a）では、光は、入射光の偏光が如何なる状態であっても回折されて0次数光となる。電圧が印加されていない状態、または低い電圧が印加されている状態（図3bおよび図3c）では、回折光方向は、入射光の偏光によって異なる。右円偏光された入射光ビームは、回折されて+1次数光（図3a）となるのに対し、左円偏光された入射光ビームは、回折されて-1次数光（図3c）となる。SPGセルによって回折された後、光の円偏光が、図3bおよび図3cに示すように反転する（右円偏光と左円偏光との間で切り替わる）。

【0019】

図4a～図4dは、PPGセルの形成プロセス400を示している。PPGセルの形成プロセス400の第1の工程（図4a）では、光配向層402でガラス基板406を被覆する。第2の工程（図4b）では、ポリマー層402が、円偏光の回転方向が互いに反対である2つの干渉UVビーム（492）で露光される。第3の工程（図4c）では、重合性LC層403で光配向層402の上面を被覆する。第4の工程（図4d）では、均一なUVビーム494を用いて、重合性LC層403を照射して、当該層のLC組成物（分子）を重合させる。このようにして、ポリマー回折格子がガラス基板406に形成される。

【0020】

結果として得られるPPGセルは、当該PPGセルの回折特性を、電圧を印加することによって変化させる（上に説明したSPGセルの場合におけるように）ことができないという点で、特性が一定の回折格子である。図5aおよび図5bは、PPGセルの異なる動作モード500を示している。各動作モードは、1つの回折次数に対応し、各次数光は、異なる角度に回折される。入射光ビームは、2つの方向のうちの一方の方向に回折される。詳細には、右円偏光を有する入射光ビームは、回折されて+1次光（図5a）となるのに対し、左円偏光を有する入射光ビームは、回折されて-1次光（図5b）となる。いずれの場合においても、回折後、ビームの偏光の回転方向が、反対の回転方向に変化、すなわち切り替わる。

【0021】

図6は、WSS（波長選択スイッチ）の具体的な光学系600を示している。WSS光学系600は、ファイバアレイ601と、マイクロレンズアレイ602と、ビーム偏向アレイ603と、1/2波長板アレイ604と、シリンドリカルレンズ605と、シリンドリカル反射ミラー606と、回折格子607と、光スイッチエンジン608とを含む。WSS光学系600のこれらの構成素子は、図6に示す通りに配置することができる、または同じ機能または同様の機能を実現する任意の他の適切な配置となるように配置することができる。他の実施形態では、上に説明した構成素子と同様であって良いし、または上に説明した構成素子とは異なる更に別の構成素子を用いることもできる。これらの構成素子のうちの幾つかの構成素子の代わりに、同じ機能を実現する同じ構成素子、または他の構成素子の組み合わせを用いることもできる。

【0022】

ファイバアレイ 601 は、入力ポートおよび出力ポートに使用される。1つのファイバ 601 からの入力光ビームまたは入射光ビームは、マイクロレンズアレイ 602、ビーム偏向アレイ 603、および 1/2 波長板アレイ 604 を通過すると、当該ビームは、同じ直線偏光を有する 2 本の平行ビームに分離される。次に、2 本の光ビームは、シリンドリカルレンズ 605 およびシリンドリカル反射ミラー 606 を通過した後にコリメートされたビームになる。次に、これらの光ビームは、回折格子 607 によって回折されて、複数の波長に分離される。次いで、各波長光は、光スイッチエンジン 608 に集光される。光スイッチエンジン 608 は、各波長光を所定のポートにルーティングする。対応する光ビームは、光学系 600 を（複数の構成素子を逆の順番で）再び通過し、所定の出力ファイバに入射して結合される。

10

【0023】

WSS 光学系 600 の光スイッチエンジン 608 は、以下に説明する SPG セルおよび LC セルの複合素子、または PPG セルおよび LC セルの複合素子を含む適切な WSS（波長選択スイッチ）システムを用いて実現することができる。使用されている他の WSS（波長選択スイッチ）技術（例えば、MEMS、LCOS、LC、ウェッジプレート、DM）と比較すると、SPG または PPG を用いる WSS システムは、光学系が単純である、電子駆動回路が簡単である、信頼性が高い、高性能である、多くのポート数を容易に実現できる、また製品コストを低く抑えることができるといった利点を有する。

【0024】

図 7a ~ 図 7h は、LC セルおよび SPG セルの複合素子のそれぞれ異なる動作モード 700 を示している。LC セル 710 は、SPG セル 720 の手前に配置される（入射光から見た場合）。LC セル 710 は、光の偏光を制御すなわち切り替えるのに用いられる。また SPG セル 720 は、光ビームを所定の方向に回折させるのに用いられる。

20

【0025】

図 7a、7c、7e、および図 7h に示すように、比較的大きな電圧（VH）（例えば、閾値を上回る電圧）を LC セル 710 に印加すると、入射光ビームの偏光は、LC セルを通過しても変化しない。図 7b、7d、7f、および図 7g に示すように、電圧を LC セル 710 に印加しない状態、または比較的小さな電圧（VL）（例えば、閾値を下回る電圧）を LC セル 710 に印加した状態では、入射光ビームの偏光の回転方向が切り替わる。図 7a、7b、7e、および図 7f に示すように、比較的大きな電圧（VH）（例えば、閾値を上回る電圧）を SPG セル 720 に印加すると、入力光の偏光が如何なる状態であっても、光ビームは回折されて 0 次光となる。図 7c、7d、7g、および図 7h に示すように、電圧を SPG セル 720 に印加しない状態、または比較的小さな電圧（VL）（例えば、閾値を下回る電圧）を SPG セル 720 に印加した状態では、LC セル 710 によって制御される入射光の偏光によって異なるが、光ビームは、+1 次光または -1 次光のいずれかとなるように回折されうる。入力光が右円偏光または左円偏光であるか否かに関係なく、LC セル 710 および SPG セル 720 の複合素子は、光ビームを 3 つの方向にルーティングして、1 × 3 型光スイッチを形成する。N 個のグループの LC セルおよび SPG セルは、1 × 3^N 型光スイッチを実現することができる。

30

【0026】

図 8 は、LC セルおよび SPG セルの複合素子を用いる具体的な光スイッチエンジン 800 の断面を示している。光スイッチエンジン 800 は、WSS 光学系 600 の光スイッチエンジン 608 として使用することができる。光スイッチエンジン 800 は、偏光板 815 に接続される LC セル 810 を含む可変光減衰器（VOA）805 と、1/4 波長板（QWP）840 と、2 つの連続する LC セル 810 および SPG セル 820 からなる対を含む 1 × 9 型光スイッチ 830 と、プリズムまたはミラー 890 とを備える。これらの構成素子は、図 8 に示す通りに、または別の適切な順番で配置することができる。LC セル 810 および SPG セル 820 は、M 個の画素を、N = 9 本のビームと直交する方向（図 8 の紙面に垂直な方向）に有することができる。図 8 では、N はポート数に対応するビームの本数であり、M は波長チャネル数に対応する画素の個数である。光エンジン 800

40

50

に使用されるＬＣセルは、電気制御複屈折（ＥＣＢ）セル、ツイステッドネマチック（ＴＮ）セル、および垂直配向（ＶＡ）セルであって良い。

【００２７】

簡潔性を期して、スイッチエンジンの動作原理は、図８のエンジン８００の断面に図示されているように１つの波長について説明される。しかしながら、同じ動作原理は全てのＭ個の画素に適用される。

【００２８】

入力光は最初に、光出力の減衰を制御するために使用されるＶＯＡ８０５を通過する。ＬＣセル８１０に加わる電圧を制御することにより、ＶＯＡ８０５の光出力量を制御することができる。ＱＷＰ８４０を使用して、光の直線偏光を円偏光に変化させる。次に、光ビームは、２グループのＬＣセル８１０およびＳＰＧセル８２０（１×９型光スイッチ８３０）を通過する。従って、出力ビームは、光軸に対して９通りの角度をとりうる。次に、当該ビームは、プリズムまたはミラー８９０で反射され、スイッチ８３０を通過した後に、光軸に平行になる。光スイッチエンジン８００は、適正に設計されて、任意の２つの隣接光路（９通りの切り替え角度）間の距離をほぼ等しくすることができる。従って、基準ファイバアレイは、光出力ポート（例えば、９個の出力ポートを備える）として使用することができる。

【００２９】

図９は、ＬＣセルおよびＳＰＧセルの複合素子を用いる具体的な別の光スイッチエンジン９００の断面を示している。光スイッチエンジン９００は、ＷＳＳ光学系６００の光スイッチエンジン６０８として使用することができる。光スイッチエンジン９００は、偏光板９１５に接続されるＬＣセル９１０を含むＶＯＡ９０５と、１対のＬＣセル９１０およびＳＰＧセル９２０、および後段の第２のＳＰＧセル９２０を含む１×７型光スイッチ９３０と、プリズムまたはミラー８９０とを備える。これらの構成素子は、図９に示す通りに、または別の適切な順番で配置することができる。ＬＣセル９１０およびＳＰＧセル９２０は更に、Ｍ個の画素を、 $N = 7$ 本のビームと直交する方向（図９の紙面に垂直な方向）に有することができる。光スイッチエンジン９００と光スイッチエンジン８００との１つの違いは、光スイッチエンジン９００が、１つのＬＣセル９１０および２つのＳＰＧセル９２０を使用して、１×７型光スイッチを実現していることである。１×７型光スイッチでは、ＬＣセル９１０を使用して、光の偏光を制御し、２つのＳＰＧセル９２０を使用して、光を所定の角度に回折させる。更に、光スイッチエンジン９００はＱＷＰを含んでいない。その代わりに、ＶＯＡ９０５のＬＣセル９１０が、切り替え可能な $1/4$ 波長板（ $\lambda/4$ と $3\lambda/4$ との間で切り替わる）として設計されて、入射光の直線偏光を円偏光に変化させる。光出力ポート数を増やすために、更に多くのＳＰＧセル９２０を光スイッチエンジン９００に、例えばミラーまたはプリズム９９０の前方に追加することができる。例えば、ＳＰＧセル９２０がＮ個の場合、 $1 \times (2^N + 1 - 1)$ 型光スイッチエンジンが実装されて良い。

【００３０】

図１０は、ＬＣセルおよびＳＰＧセルの複合素子を用いる具体的な更に別の光スイッチエンジン１０００の断面を示している。光スイッチエンジン１０００は、ＷＳＳ光学系６００の光スイッチエンジン６０８として使用することができる。光スイッチエンジン１０００は、偏光板１０１５に接続されるＬＣセル１０１０を含むＶＯＡ１００５と、ＱＷＰ１０４０と、３つのＳＰＧセル１０２０を含む１×８型光スイッチ１０３０と、プリズムまたはミラー１０９０とを備える。これらの構成素子は、図１０に示す通りに、または別の適切な順番で配置することができる。これらのＳＰＧセル１０２０は更に、Ｍ個の画素を、 $N = 8$ 本のビームと直交する方向（図１０の紙面に垂直な方向）に有することができる。上に説明した光スイッチエンジン８００および９００とは異なり、光スイッチエンジン１０００は、ＬＣセルを用いることなくＳＰＧセル群１０２０のみを使用して光回折角を制御する。光ビームがＶＯＡ１００５およびＱＷＰ１０４０を通過した後、入力ビームの直線偏光は円偏光に変化する。各ＳＰＧセル１０２０は、光ビームを２通りの角度に回

10

20

30

40

50

折させることができる。従って、SPGセルがN個ある場合、 1×2^N 型光スイッチエンジンを形成することができる。

【0031】

図11a～図11dは、LCセルおよびSPGセルの複合素子の異なる動作モード1100を示している。LCセル1110は、SPGセル1150の手前に配置される（入射光から見た場合）。LCセル1110を用いて、光の偏光を制御する、または切り替え、またPPGセル1150を用いて光ビームを、入力光の偏光によって異なるが、2通りの方向のうちの一方の方向に回折させる。従って、LCセルおよびPPGセルからなるN個の群は、 1×2^N 型光スイッチを構成することができる。

【0032】

図11aおよび図11dに示すように、VH（例えば、閾値を上回る電圧）をLCセル1110に印加すると、入射光ビームの偏光は、LCセルを通過することにより変化することはない。図11bおよび図11cに示すように、電圧をLCセル1110に印加しない状態、またはVL（例えば、閾値を下回る電圧）をLCセル1110に印加した状態では、入射光ビームの偏光の左右が切り替わる。図11aおよび図11cに示すように、PPGセル1150への入射光が、右円偏光を有する場合、光ビームは回折されて+1次数光となる。図11bおよび図11dに示すように、PPGセル1150への入射光が、左円偏光されている場合、光ビームは回折されて-1次数光となる。

【0033】

図12は、LCセルおよびSPGセルの複合素子を用いる具体的な光スイッチエンジン1200の断面を示している。光スイッチエンジン1200は、WSS光学系600の光スイッチエンジン608として使用することができる。光スイッチエンジン1200は、偏光板1215に接続されるLCセル1210を含むVOA1205と、2つの連続するLCセル1210およびPPGセル1250からなる対を含む 1×4 型光スイッチ1230と、プリズムまたはミラー1290とを備える。これらの構成素子は、図12に示す通りに、または別の適切な順番で配置することができる。これらのLCセル1210およびPPGセル1250は、M個の画素を、N=4本のビームと直交する方向（図12の紙面に垂直な方向）に有することができる。同様の光スイッチは、必要数のLCおよびPPGペアを積層して合体させることにより、任意の数の出力ポートを有するように設計することができる。

【0034】

図13は、光スイッチエンジンを、LCセルおよびSPGセルを用いて動作させる具体的な方法1300を示している。例えば、方法1300は、光スイッチエンジン800、900、および1000のうちのいずれかの光スイッチエンジンを用いて実施される。工程1310では、入射光ビームを、左円偏光または右円偏光に偏光させる。例えば、QWP840または1040、或いは電氣的に切り替え可能な（電圧を印加することにより）LCを用いて、直線偏光する入射光ビームを円偏光する光に変換する。工程1320では、円偏光する光ビームが、少なくとも1つのSPGセルを用いて回折される。回折光ビームの偏光の回転方向が更に切り替えられる。例えば、円偏光する光が、左回り方向と右回り方向との間で、 1×9 型光スイッチ830の電氣的に切り替え可能な第1のLC810（または、 1×7 型光スイッチ930のLC910）を用いて切り替えられ、続いて、電氣的に切り替え可能な次段のSPG820（または、920）により、対応する角度に回折される。別の例では、円偏光する光が、 1×8 型光スイッチ1030の電氣的に切り替え可能な第1のSPG1020により、対応する角度に直接回折される。

【0035】

図14は、LCセルおよびPPGセルを用いて光スイッチエンジンを動作させる具体的な方法1400を示している。例えば、方法1400は、光スイッチエンジン1200を用いて実施される。工程1410では、入射光ビームが、左円偏光または右円偏光に偏光される。例えば、電氣的に切り替え可能なLCを用いて、直線偏光する入射光ビームが円偏光する光に変換される。工程1420では、円偏光する光ビームが、少なくとも1対の

10

20

30

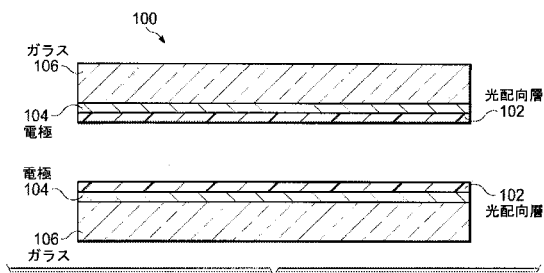
40

50

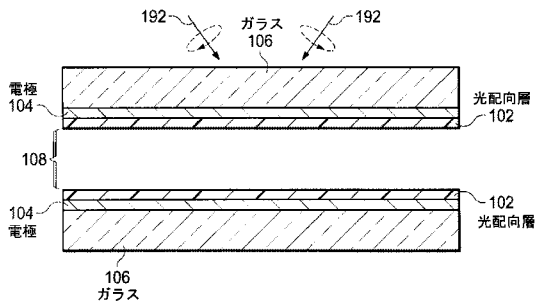
ＬＣセルおよびＰＰＧセルを用いて回折される。回折光ビームの偏光の回転方向が更に切り替えられる。例えば、円偏光光は、左回り方向と右回り方向との間で、１×４型光スイッチ１２３０の電氣的に切り替え可能な第１のＬＣ１２１０を用いて切り替えられ、続いて、電氣的に切り替え可能な次段のＳＰＧ１２５０により、対応する角度に回折される。
【００３６】

本発明について、例示的な実施形態を参照して説明してきたが、この説明は、限定的な意味に解釈されてはならない。例示の実施形態の種々の変形および組み合わせ、ならびに本発明の他の実施形態は、当業者には、説明を参照することにより明らかになる。従って、添付の請求項は、このような変形または実施形態の全てを包含する。

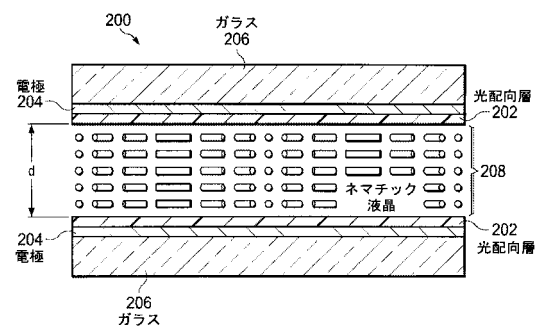
【図１ａ】



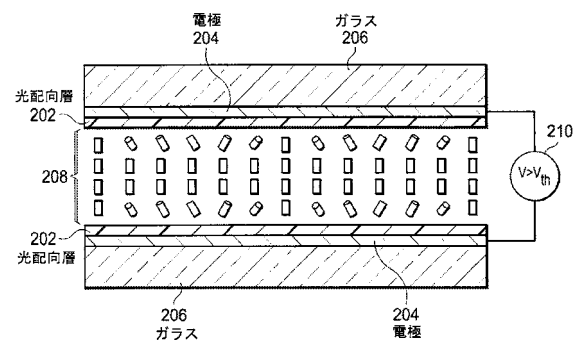
【図１ｂ】



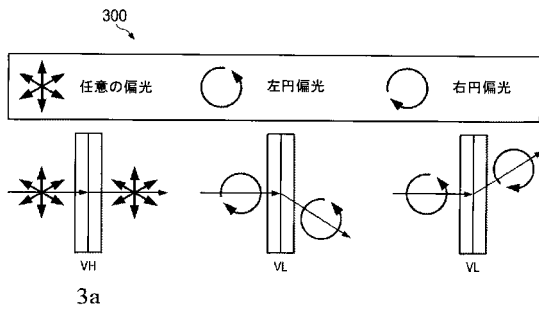
【図２ａ】



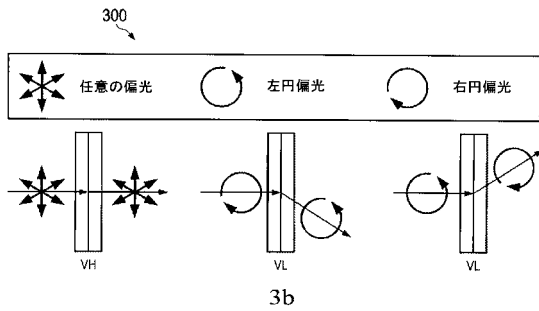
【図２ｂ】



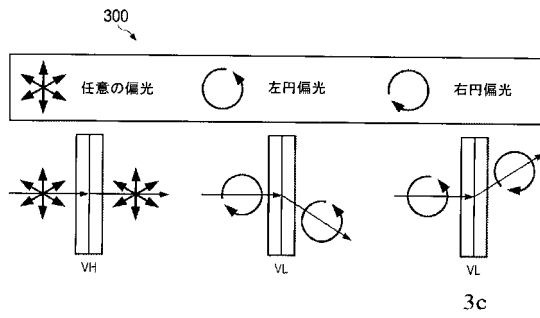
【図 3 a】



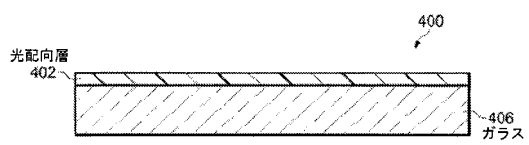
【図 3 b】



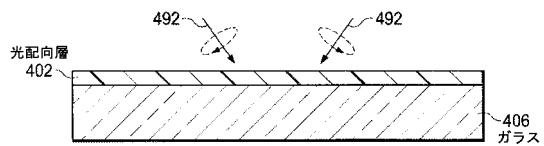
【図 3 c】



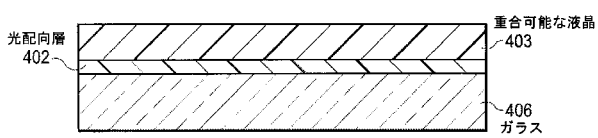
【図 4 a】



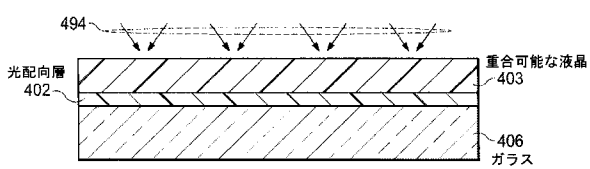
【図 4 b】



【図 4 c】



【図 4 d】



【図 5 a】

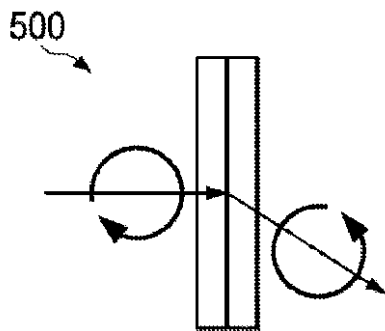


FIG. 5a

【図 5 b】

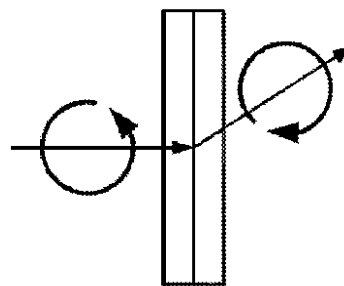


FIG. 5b

【図 6】

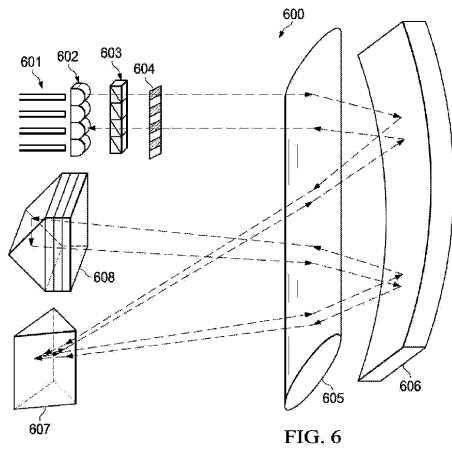


FIG. 6

【図 7 a】

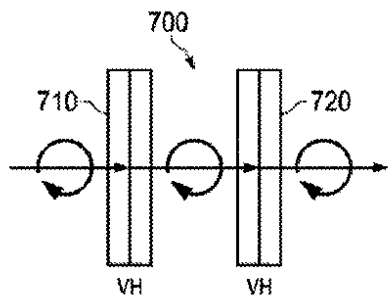


FIG. 7a

【図 7 d】

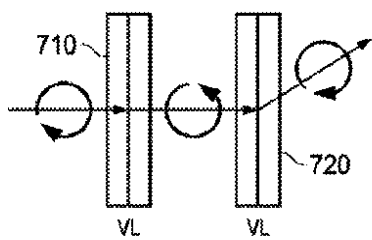


FIG. 7d

【図 7 e】

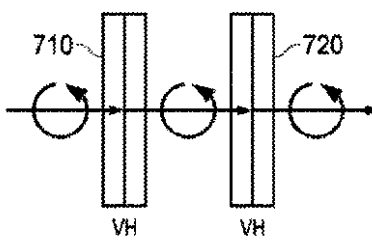


FIG. 7e

【図 7 b】

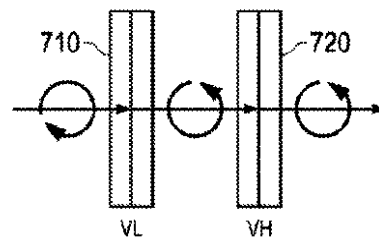


FIG. 7b

【図 7 c】

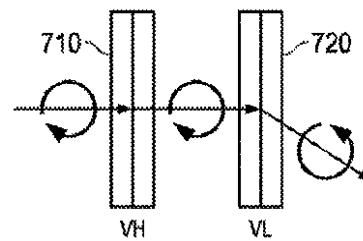


FIG. 7c

【図 7 f】

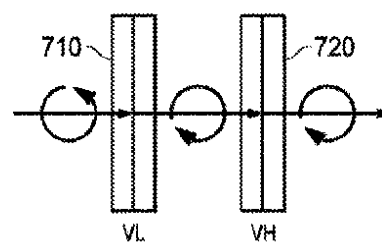


FIG. 7f

【図 7 g】

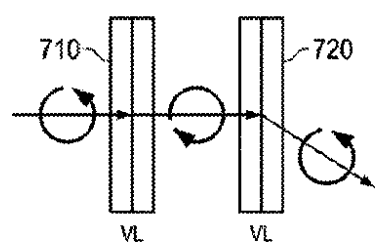


FIG. 7g

【 図 7 h 】

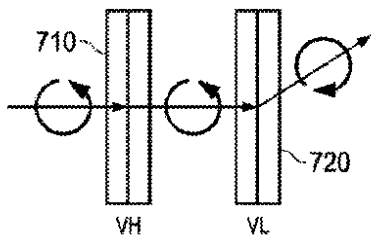
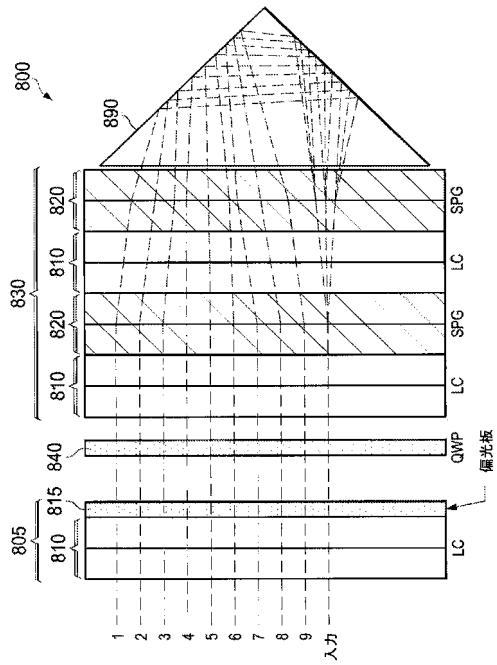
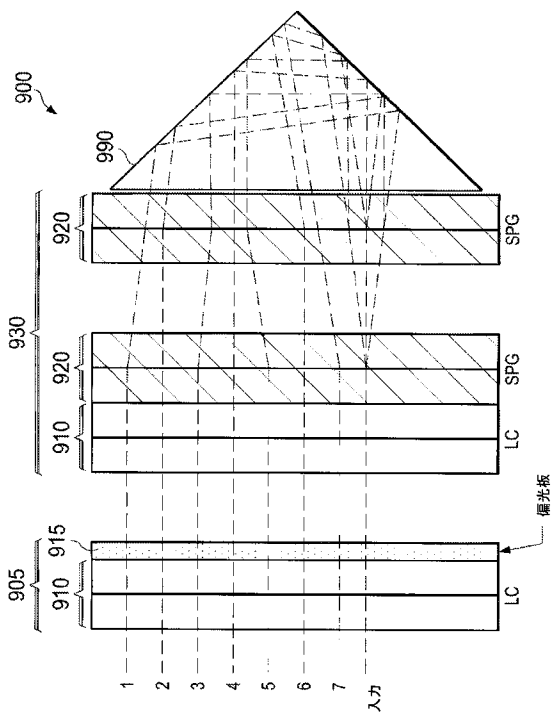


FIG. 7h

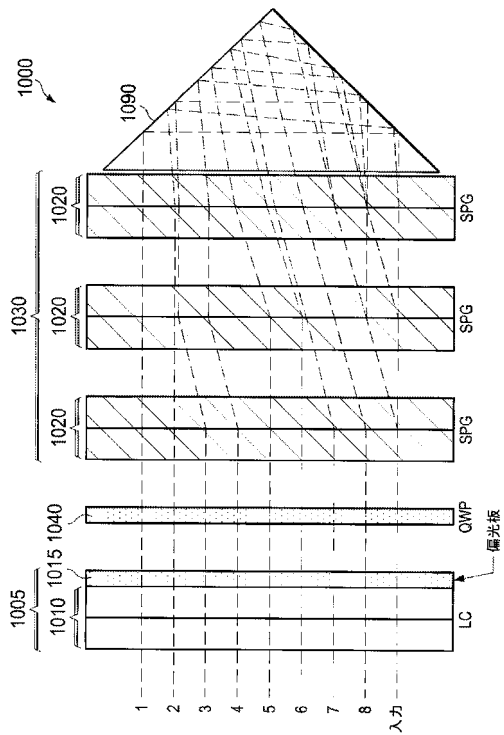
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 1 0 】



【手続補正書】

【提出日】平成26年6月19日(2014.6.19)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光スイッチに関するものであり、特に波長を選択的に切り替える装置および方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光伝送ネットワーク機器の場合、再構築可能な光挿入/分岐マルチプレクサ(ROADM)を使用すると、ネットワーク能力を柔軟に拡張することができ、運用コストを低減することができる。波長選択スイッチ(WSS)は、現在のROADM技術を用いる場合の1つの選択肢である。1×N型WSS(波長選択スイッチ)の場合、1は共通(COM)ポートであり、Nは分岐ポート数を表している。WSS(波長選択スイッチ)が動作すると、WDM信号群がCOMポートから入力されると、これらの信号は光波長ごとに分離され、次いで、システム要件に従って、各波長はN個の分岐ポートのうちの1つの分岐ポートにルーティングされる。逆に、これらの光信号は、N個の分岐ポートからの入力として受信することができ、COMポートからの出力として送信することができる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

ROADMは、コストが高く付き、かつサービスを中断する「フォークリフト」アップグレードに頼ることなく、容量を必要に応じて柔軟に増加させる自動機構を提供する。ROADMネットワークの利点は、ROADMネットワークが、必要なときにどの場所でも、かつ如何なるときでも、下層ネットワークが、増大したトラフィックを自動的に補償する状態を確保しながら、容量を動的に増加させることができることである。これにより、手動調整または大規模なアップグレードが不要となる。ROADMは、挿入/分岐機能を複数の方向に複数の波長チャネルについて提供することができるので、ネットワークリング群間の多方向相互接続を実現し、メッシュ型ネットワークを構築するのに適している。

【課題を解決するための手段】

【0004】

1つの実施形態によれば、光スイッチは、液晶セルと、前記液晶セルに隣接する切り替え可能な偏光回折格子(SPG)セルとを含む。前記SPGは、第1のガラス基板と、前記第1のガラス基板を覆う第1の電極層と、前記第1の電極層を覆う光配向層と、前記光配向層を覆う液晶材料と、前記液晶材料を覆う第2の光配向層とを含む。前記第1の光配向層および前記第2の光配向層は、円偏光の回転方向が互いに反対である2つの干渉光ビームを使用して露光されることにより物理的に変化した感光性ポリマーを含む。前記SPGは更に、前記第2の光配向層を覆う第2の電極層と、前記第2の電極層を覆う第2のガラス基板とを含む。

【0005】

別の実施形態によれば、光スイッチは、液晶セルと、前記液晶セルに隣接するポリマー液晶偏光回折格子(PPG)セルとを含む。前記PPGは、ガラス基板と、前記ガラス基板を覆い、かつ円偏光の回転方向が互いに反対である2つの干渉光ビームを使用して露光されることにより物理的に変化している感光性ポリマーを含む光配向層と、前記光配向層

を前記ガラス基板の反対側で覆い、かつ均一光ビームを用いる照射により物理的に変化した重合液晶層とを含む。

【 0 0 0 6 】

更に別の実施形態によれば、偏光回折格子を含む光スイッチを動作させる方法は、入射光ビームを円偏光に偏光させる工程と、前記偏光光ビームを前記偏光回折格子に誘導する工程と、前記偏光回折格子で、前記偏光入射光ビームを、前記入射光ビームの前記円偏光に応じた回折次数及び２つの干渉光ビームを用いて形成される、前記偏光回折格子の内部に形成されるホログラムパターン方向に対応する所定の角度で、回折させる工程とを含む。

【 0 0 0 7 】

本発明および本発明の利点を更に完全に理解するために、次に以下の説明を添付の図面と併せて参照する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図 1 a】切り替え可能な偏光回折格子（SPG）セルの形成プロセスを示している。

【図 1 b】切り替え可能な偏光回折格子（SPG）セルの形成プロセスを示している。

【図 2 a】電圧が印加されていない状態のSPGセルを示している。

【図 2 b】電圧が印加されている状態のSPGセルを示している。

【図 3 a】SPGセルの異なる動作モードを示している。

【図 3 b】SPGセルの異なる動作モードを示している。

【図 3 c】SPGセルの異なる動作モードを示している。

【図 4 a】ポリマー液晶偏光回折格子（PPG）セルの形成プロセスを示している。

【図 4 b】ポリマー液晶偏光回折格子（PPG）セルの形成プロセスを示している。

【図 4 c】ポリマー液晶偏光回折格子（PPG）セルの形成プロセスを示している。

【図 4 d】ポリマー液晶偏光回折格子（PPG）セルの形成プロセスを示している。

【図 5 a】PPGセルの異なる動作モードを示している。

【図 5 b】PPGセルの異なる動作モードを示している。

【図 6】波長選択スイッチ（WSS）の具体的な光学系を示している。

【図 7 a】液晶（LC）セルおよびSPGセルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 7 b】液晶（LC）セルおよびSPGセルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 7 c】液晶（LC）セルおよびSPGセルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 7 d】液晶（LC）セルおよびSPGセルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 7 e】液晶（LC）セルおよびSPGセルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 7 f】液晶（LC）セルおよびSPGセルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 7 g】液晶（LC）セルおよびSPGセルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 7 h】液晶（LC）セルおよびSPGセルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 8】LCセルおよびSPGセルの複合素子を用いる具体的な光スイッチエンジンを示している。

【図 9】LCセルおよびSPGセルの複合素子を用いる別の具体的な光スイッチエンジンを示している。

【図 10】LCセルおよびSPGセルの複合素子を用いる更に別の具体的な光スイッチエンジンを示している。

【図 1 1 a】LCセルおよびPPGセルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 1 1 b】LCセルおよびPPGセルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 1 1 c】LCセルおよびPPGセルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 1 1 d】LCセルおよびPPGセルの複合素子の異なる動作モードを示している。

【図 1 2】LCセルおよびPPGセルの複合素子を用いる具体的な光スイッチエンジンを示している。

【図 1 3】光スイッチエンジンを、LCセルおよびSPGセルを用いて動作させる具体的な方法を示している。

【図 1 4】光スイッチエンジンを、LCセルおよびPPGセルを用いて動作させる具体的な方法を示している。

【発明を実施するための形態】

【0009】

現時点で好適な実施形態を構成し、使用する手法について以下に詳細に説明する。しかしながら、本発明は、非常に多岐に亘る特定の状況で具体化することができる多くの適用可能な革新的なコンセプトを提供することを理解されたい。説明する特定の実施形態は、本発明を構成し、使用するための特定のやり方を単に例示しているに過ぎず、本発明の範囲を限定するものではない。

【0010】

波長選択スイッチ(WSS)製品に現在使用されている技術として、微小電気機械システム(MEMS)、液晶オンシリコン(LCOS)、くさび型結晶を備える液晶(LC)、およびデジタルマイクロミラー素子(DMD)を挙げることができる。これらの技術の場合、これらの光学系は、光スイッチエンジンが異なる以外は、互いに同様とすることができる。

【0011】

MEMS(微小電気機械システム)では、これらの波長は、回折格子によりそれぞれ異なるチャネルへ向かうように回折されて、次いで、各波長は、対応するMEMS反射ミラーに入射する。各MEMS反射ミラーに加わる電圧を制御することにより、ミラーの回転角を制御して、光反射角を制御することができる。ネットワークの要件に従って、各波長を所定の角度に反射することができる。複数のチャネルから同じ角度に反射される波長ビームは、回折格子を2回目に通過した後に、回折されて1つのビームになることができ、次いで、出力ポートへ入射して結合することができる。切り替え時に光減衰量を制御し、かつヒットレス機能を実現するために、各MEMSミラーは、2つの回転方向を有し、一の回転でポート切り替えを行い、他の回転で減衰量およびヒットレス機能を制御する。MEMS系WSSは、光学系が単純であり、性能が良好であるという利点を有する。しかしながら、MEMS系WSSは、比較的低い歩留まりに起因するMEMSチップ形成に要する高コスト、MEMSミラーに対する高電圧駆動要件に起因する電子素子に要する高コスト、非常に多くのポートを実現する難しさ、および柔軟なグリッド(Flexgrid)機能を設計する難しさといった幾つかの不具合を有する。

【0012】

LCOSは、WSS(波長選択スイッチ)システムに使用される別の技術である。LCOSは、ガラス基板とシリコン背面との間に配置されるLC層から成る。LCOS系WSSでは、回折格子により分離される各波長光は、M×N画素を網羅するLCOSパネルに入射する。これらの画素に加わる電圧を制御することにより、入射光ビームが所定の角度に回折されるようなLC(液晶)位相回折格子を形成することができる。LC(液晶)回折格子ピッチを変えることにより、異なる回折角度が得られる。従って、ある波長光についてLC(液晶)位相回折格子ピッチを制御することにより、光ビームを所定の出力ポートにルーティングすることができる。LCOS系WSSは、光学系が単純である、多くのポート数が容易に実現される、柔軟なグリッド機能が容易に実現されるといった幾つかの利点を有する。不具合としては、電子駆動方式が複雑であること、制御ソフトウェアが極めて複雑であること、低クロストークを実現することが困難であること、および温度に対

する感度が非常に高いことを挙げることができる。

【0013】

WSS（波長選択スイッチ）に使用される別の技術が、結晶ウェッジを備えるLCである。結晶ウェッジを備えるLCを用いたWSS設計は、2009年3月3日に発行され、「Apparatus And Method for Optical Switching with Liquid Crystals And Birefringent Wedges（液晶および複屈折結晶ウェッジを用いた光スイッチング装置および方法）」と題する米国特許第7,499,608号明細書に記載されている。このようなWSSのスイッチエンジンは、出力ポートの必要数によって異なるが、数段のLCセルおよびウェッジプレート複合素子から成る。各段では、LCセルは、偏光を切り替えるのに使用され、またウェッジプレートは、光を、入射光の偏光によって異なるように2つの方向に屈折させるのに用いられる。その結果、 1×2 型光スイッチが得られる。従って、N段を積層すると、 1×2^N 型光スイッチが得られる。使用するLCセルは、必要な光チャネル数によって定義されるM個の画素に分離される。LC画素に印加される電圧を制御することにより、対応する波長光を所定の出力ポート群にルーティングすることができる。このようなWSSは、駆動用電子素子が簡単であり、高い耐振動性を示し、高い信頼性を示すという利点を有する。不具合として、高い材料コストに起因する高コスト、複雑な素子組み立てプロセスに起因する比較的低い歩留まり、および非常に多いポート数を実現する難しさを挙げることができる。

【0014】

DMD（デジタルマイクロミラー素子）技術も、WSSシステムに使用される。このようなシステムでは、各波長光は、幾つかのDMD/MEMSミラーに入射する。これらのミラーの回転角を制御することにより、光ビームを所定の角度に誘導することができる。これらのミラーは、2つしか偏向位置を有しないので、1つのDMDチップ系WSSは、 1×2 型スイッチしか実現できない。WSSのスイッチポート数を増やすためには、より多くのDMDチップが必要になり、光学系設計が高コストになり、かつ非常に難しくなる。

【0015】

上に説明したように、既存の技術を用いるWSSシステムは、駆動用電子素子が複雑なソフトウェアを備えること、材料が高コストであること、振動耐性が低いこと、および非常に多くのポートに拡張することが困難であることを含む不具合を有している。本明細書において記載されるのは、WSS（波長選択スイッチ）を実現する具体的なシステムおよび方法である。異なる実施形態では、切り替え可能な偏光回折格子（SPG）セルおよびLCセルの複合素子、ならびにポリマー液晶偏光回折格子（PPG）セルおよびLCセルの複合素子を用いて、上に挙げたシステムの不具合のうちの少なくとも幾つかの不具合を解決する $1 \times N$ 型WSSシステムを実現する。

【0016】

図1aおよび図1bは、SPGセルの形成プロセス100を示している。従来のLCセルを形成する際、LC配向層は、当該LCを挟み込むために使用される2枚の基板上に堆積される2つのポリマー層をラビングまたは露光することにより形成される。SPGセルの形成プロセス100は、LC配向層を形成する工程に関して異なっている。SPGセルの形成プロセス100の第1の工程（図1a）では、2つの感光性ポリマー層102が2つのガラス基板106上にそれぞれ堆積され、次いで、2枚のガラス基板を合体させて、LCを充填するためのギャップを残す。電極（導体）層104が更に、各感光性ポリマー層102と各感光性ポリマー層102に対応するガラス基板106との間に付加される。次に（図1b）、円偏光の回転方向が互いに反対である（それぞれ、右円偏光および左円偏光を有する）2つの干渉紫外（UV）光ビーム192が、（適切な入射角で）2つのポリマー層102を露光するのに用いられ（例えば、これらのガラス基板106を介して）、ホログラフィックパターンがこれらのポリマー層102に形成される。この干渉ビーム露光がSPGセルの各面に対して行われることで、配向層が感光性ポリマー層102から

形成される。LC108がギャップに充填され、2枚のガラス基板の間に挟み込まれる場合、LC108の分子は、この段階でLC配向層として機能するこれらの感光性ポリマー層102の上に形成されたホログラムパターンと位置合わせされるように配向される。

【0017】

図2aおよび図2bはそれぞれ、電圧が印加されている状態および電圧が印加されていない状態のSPGセル200を示している。SPGセル200は、形成プロセス100を使用して形成することができる。電圧が電極層204に印加されていない状態(図2a)では、SPGセル200のLC208は回折格子を形成し、この回折格子によって、ガラス基板206のいずれの部分への入射光も、これらの配向層202を形成するための2本の露光ビームの角度で決まる方向(形成プロセス100中に決まる方向)に回折される。ゼロではない電圧がこれらの電極層204に電圧が印加されると(図2b)、LC208分子は、印加電圧によって生じる電界に位置合わせされるように配向するようになるので、LC回折格子の影響(配向層202によって生じる)が打ち消されてなくなり、ガラス基板206のいずれの部分への入射光も、回折されなくなる。LC回折格子の影響を打ち消すためには、十分大きな電圧が、例えば閾値電圧(V_{th})を超える電圧が必要になる。

【0018】

上に説明したSPGセルは、普通の回折格子とは異なる0次および±1次の3つの回折次数を有する。図3a~図3cは、SPGセルのそれぞれ異なる動作モード300を示している。各動作モードは、1つの回折次数に対応し、各次数の光は、異なる角度に回折される。十分大きな電圧がSPGセルに印加されている状態(図3a)では、光は、入射光の偏光が如何なる状態であっても回折されて0次数光となる。電圧が印加されていない状態、または低い電圧が印加されている状態(図3bおよび図3c)では、回折光方向は、入射光の偏光によって異なる。右円偏光された入射光ビームは、回折されて+1次数光(図3a)となるのに対し、左円偏光された入射光ビームは、回折されて-1次数光(図3c)となる。SPGセルによって回折された後、光の円偏光が、図3bおよび図3cに示すように反転する(右円偏光と左円偏光との間で切り替わる)。

【0019】

図4a~図4dは、PPGセルの形成プロセス400を示している。PPGセルの形成プロセス400の第1の工程(図4a)では、光配向層402がガラス基板406上に堆積される。第2の工程(図4b)では、ポリマー層402が、円偏光の回転方向が互いに反対である2つの干渉UVビーム(492)で露光される。第3の工程(図4c)では、重合性LC層403が光配向層402の上面に堆積される。第4の工程(図4d)では、均一なUVビーム494を用いて、重合性LC層403を照射して、当該層のLC組成物(分子)を重合させる。このようにして、ポリマー回折格子がガラス基板406に形成される。

【0020】

結果として得られるPPGセルは、当該PPGセルの回折特性を、電圧を印加することによって変化させる(上に説明したSPGセルの場合におけるように)ことができないという点で、特性が一定の回折格子である。図5aおよび図5bは、PPGセルの異なる動作モード500を示している。各動作モードは、1つの回折次数に対応し、各次数光は、異なる角度に回折される。入射光ビームは、2つの方向のうちの一方の方向に回折される。詳細には、右円偏光を有する入射光ビームは、回折されて+1次光(図5a)となるのに対し、左円偏光を有する入射光ビームは、回折されて-1次光(図5b)となる。いずれの場合においても、回折後、ビームの偏光の回転方向が、反対の回転方向に変化、すなわち切り替わる。

【0021】

図6は、WSS(波長選択スイッチ)の具体的な光学系600を示している。WSS光学系600は、ファイバアレイ601と、マイクロレンズアレイ602と、ビーム偏向アレイ603と、1/2波長板アレイ604と、シリンドリカルレンズ605と、シリンド

リカル反射ミラー 606 と、回折格子 607 と、光スイッチエンジン 608 とを含む。WSS 光学系 600 のこれらの構成素子は、図 6 に示す通りに配置することができる、または同じ機能または同様の機能を実現する任意の他の適切な配置となるように配置することができる。他の実施形態では、上に説明した構成素子と同様であって良いし、または上に説明した構成素子とは異なる更に別の構成素子を用いることもできる。これらの構成素子のうちの幾つかの構成素子の代わりに、同じ機能を実現する同じ構成素子、または他の構成素子の組み合わせを用いることもできる。

【0022】

ファイバアレイ 601 は、入力ポートおよび出力ポートに使用される。1つのファイバ 601 からの入力光ビームまたは入射光ビームは、マイクロレンズアレイ 602、ビーム偏向アレイ 603、および 1/2 波長板アレイ 604 を通過すると、当該ビームは、同じ直線偏光を有する 2 本の平行ビームに分離される。次に、2 本の光ビームは、シリンドリカルレンズ 605 およびシリンドリカル反射ミラー 606 を通過した後にコリメートされたビームになる。次に、これらの光ビームは、回折格子 607 によって回折されて、複数の波長に分離される。次いで、各波長光は、光スイッチエンジン 608 に集光される。光スイッチエンジン 608 は、各波長光を所定のポートにルーティングする。対応する光ビームは、光学系 600 を（複数の構成素子を逆の順番で）再び通過し、所定の出力ファイバに入射して結合される。

【0023】

WSS 光学系 600 の光スイッチエンジン 608 は、以下に説明する SPG セルおよび LC セルの複合素子、または PPG セルおよび LC セルの複合素子を含む適切な WSS（波長選択スイッチ）システムを用いて実現することができる。使用されている他の WSS（波長選択スイッチ）技術（例えば、MEMS、LCOS、LC、ウェッジプレート、DMD）と比較すると、SPG または PPG を用いる WSS システムは、光学系が単純である、電子駆動回路が簡単である、信頼性が高い、高性能である、多くのポート数を容易に実現できる、また製品コストを低く抑えることができるといった利点を有する。

【0024】

図 7a ~ 図 7h は、LC セルおよび SPG セルの複合素子のそれぞれ異なる動作モード 700 を示している。LC セル 710 は、SPG セル 720 の手前に配置される（入射光から見た場合）。LC セル 710 は、光の偏光を制御すなわち切り替えるのに用いられる。また SPG セル 720 は、光ビームを所定の方向に回折させるのに用いられる。

【0025】

図 7a、7c、7e、および図 7h に示すように、比較的大きな電圧（VH）（例えば、閾値を上回る電圧）を LC セル 710 に印加すると、入射光ビームの偏光は、LC セルを通過しても変化しない。図 7b、7d、7f、および図 7g に示すように、電圧を LC セル 710 に印加しない状態、または比較的小さな電圧（VL）（例えば、閾値を下回る電圧）を LC セル 710 に印加した状態では、入射光ビームの偏光の回転方向が切り替わる。図 7a、7b、7e、および図 7f に示すように、比較的大きな電圧（VH）（例えば、閾値を上回る電圧）を SPG セル 720 に印加すると、入力光の偏光が如何なる状態であっても、光ビームは回折されて 0 次光となる。図 7c、7d、7g、および図 7h に示すように、電圧を SPG セル 720 に印加しない状態、または比較的小さな電圧（VL）（例えば、閾値を下回る電圧）を SPG セル 720 に印加した状態では、LC セル 710 によって制御される入射光の偏光によって異なるが、光ビームは、+1 次光または -1 次光のいずれかとなるように回折されうる。入力光が右円偏光または左円偏光であるか否かに関係なく、LC セル 710 および SPG セル 720 の複合素子は、光ビームを 3 つの方向にルーティングして、1×3 型光スイッチを形成する。N 個のグループの LC セルおよび SPG セルは、1×3^N 型光スイッチを実現することができる。

【0026】

図 8 は、LC セルおよび SPG セルの複合素子を用いる具体的な光スイッチエンジン 800 の断面を示している。光スイッチエンジン 800 は、WSS 光学系 600 の光スイッ

チエンジン 608 として使用することができる。光スイッチエンジン 800 は、偏光板 815 に接続される LC セル 810 を含む可変光減衰器 (VOA) 805 と、 $1/4$ 波長板 (QWP) 840 と、2 つの連続する LC セル 810 および SPG セル 820 からなる対を含む 1×9 型光スイッチ 830 と、プリズムまたはミラー 890 とを備える。これらの構成素子は、図 8 に示す通りに、または別の適切な順番で配置することができる。LC セル 810 および SPG セル 820 は、M 個の画素を、 $N = 9$ 本のビームと直交する方向 (図 8 の紙面に垂直な方向) に有することができる。図 8 では、N はポート数に対応するビームの本数であり、M は波長チャネル数に対応する画素の個数である。光エンジン 800 に使用される LC セルは、電気制御複屈折 (ECB) セル、ツイステッドネマチック (TN) セル、および垂直配向 (VA) セルであって良い。

【0027】

簡潔性を期して、スイッチエンジンの動作原理は、図 8 のエンジン 800 の断面に図示されているように 1 つの波長について説明される。しかしながら、同じ動作原理は全ての M 個の画素に適用される。

【0028】

入力光は最初に、光出力の減衰を制御するために使用される VOA 805 を通過する。LC セル 810 に加わる電圧を制御することにより、VOA 805 の光出力量を制御することができる。QWP 840 を使用して、光の直線偏光を円偏光に変化させる。次に、光ビームは、2 グループの LC セル 810 および SPG セル 820 (1×9 型光スイッチ 830) を通過する。従って、出力ビームは、光軸に対して 9 通りの角度をとりうる。次に、当該ビームは、プリズムまたはミラー 890 で反射され、スイッチ 830 を通過した後に、光軸に平行になる。光スイッチエンジン 800 は、適正に設計されて、任意の 2 つの隣接光路 (9 通りの切り替え角度) 間の距離をほぼ等しくすることができる。従って、基準ファイバアレイは、光出力ポート (例えば、9 個の出力ポートを備える) として使用することができる。

【0029】

図 9 は、LC セルおよび SPG セルの複合素子を用いる具体的な別の光スイッチエンジン 900 の断面を示している。光スイッチエンジン 900 は、WSS 光学系 600 の光スイッチエンジン 608 として使用することができる。光スイッチエンジン 900 は、偏光板 915 に接続される LC セル 910 を含む VOA 905 と、1 対の LC セル 910 および SPG セル 920、および後段の第 2 の SPG セル 920 を含む 1×7 型光スイッチ 930 と、プリズムまたはミラー 890 とを備える。これらの構成素子は、図 9 に示す通りに、または別の適切な順番で配置することができる。LC セル 910 および SPG セル 920 は更に、M 個の画素を、 $N = 7$ 本のビームと直交する方向 (図 9 の紙面に垂直な方向) に有することができる。光スイッチエンジン 900 と光スイッチエンジン 800 との 1 つの違いは、光スイッチエンジン 900 が、1 つの LC セル 910 および 2 つの SPG セル 920 を使用して、 1×7 型光スイッチを実現していることである。 1×7 型光スイッチでは、LC セル 910 を使用して、光の偏光を制御し、2 つの SPG セル 920 を使用して、光を所定の角度に回折させる。更に、光スイッチエンジン 900 は QWP を含んでいない。その代わりに、VOA 905 の LC セル 910 が、切り替え可能な $1/4$ 波長板 ($\lambda/4$ と $3\lambda/4$ との間で切り替わる) として設計されて、入射光の直線偏光を円偏光に変化させる。光出力ポート数を増やすために、更に多くの SPG セル 920 を光スイッチエンジン 900 に、例えばミラーまたはプリズム 990 の前方に追加することができる。例えば、SPG セル 920 が N 個の場合、 $1 \times (2^{N+1} - 1)$ 型光スイッチエンジンが実装されて良い。

【0030】

図 10 は、LC セルおよび SPG セルの複合素子を用いる具体的な更に別の光スイッチエンジン 1000 の断面を示している。光スイッチエンジン 1000 は、WSS 光学系 600 の光スイッチエンジン 608 として使用することができる。光スイッチエンジン 1000 は、偏光板 1015 に接続される LC セル 1010 を含む VOA 1005 と、QWP

1040と、3つのSPGセル1020を含む 1×8 型光スイッチ1030と、プリズムまたはミラー1090とを備える。これらの構成素子は、図10に示す通りに、または別の適切な順番で配置することができる。これらのSPGセル1020は更に、M個の画素を、 $N = 8$ 本のビームと直交する方向（図10の紙面に垂直な方向）に有することができる。上に説明した光スイッチエンジン800および900とは異なり、光スイッチエンジン1000は、LCセルを用いることなくSPGセル群1020のみを使用して光回折角を制御する。光ビームがVOA1005およびQWP1040を通過した後、入力ビームの直線偏光は円偏光に変化する。各SPGセル1020は、光ビームを2通りの角度に回折させることができる。従って、SPGセルがN個ある場合、 1×2^N 型光スイッチエンジンを形成することができる。

【0031】

図11a～図11dは、LCセルおよびSPGセルの複合素子の異なる動作モード1100を示している。LCセル1110は、SPGセル1150の手前に配置される（入射光から見た場合）。LCセル1110を用いて、光の偏光を制御する、または切り替え、またPPGセル1150を用いて光ビームを、入力光の偏光によって異なるが、2通りの方向のうちの一方の方向に回折させる。従って、LCセルおよびPPGセルからなるN個の群は、 1×2^N 型光スイッチを構成することができる。

【0032】

図11aおよび図11dに示すように、VH（例えば、閾値を上回る電圧）をLCセル1110に印加すると、入射光ビームの偏光は、LCセルを通過することにより変化することはない。図11bおよび図11cに示すように、電圧をLCセル1110に印加しない状態、またはVL（例えば、閾値を下回る電圧）をLCセル1110に印加した状態では、入射光ビームの偏光の左右が切り替わる。図11aおよび図11cに示すように、PPGセル1150への入射光が、右円偏光を有する場合、光ビームは回折されて+1次数光となる。図11bおよび図11dに示すように、PPGセル1150への入射光が、左円偏光されている場合、光ビームは回折されて-1次数光となる。

【0033】

図12は、LCセルおよびSPGセルの複合素子を用いる具体的な光スイッチエンジン1200の断面を示している。光スイッチエンジン1200は、WSS光学系600の光スイッチエンジン608として使用することができる。光スイッチエンジン1200は、偏光板1215に接続されるLCセル1210を含むVOA1205と、2つの連続するLCセル1210およびPPGセル1250からなる対を含む 1×4 型光スイッチ1230と、プリズムまたはミラー1290とを備える。これらの構成素子は、図12に示す通りに、または別の適切な順番で配置することができる。これらのLCセル1210およびPPGセル1250は、M個の画素を、 $N = 4$ 本のビームと直交する方向（図12の紙面に垂直な方向）に有することができる。同様の光スイッチは、必要数のLCおよびPPGペアを積層して合体させることにより、任意の数の出力ポートを有するように設計することができる。

【0034】

図13は、光スイッチエンジンを、LCセルおよびSPGセルを用いて動作させる具体的な方法1300を示している。例えば、方法1300は、光スイッチエンジン800、900、および1000のうちのいずれかの光スイッチエンジンを用いて実施される。工程1310では、入射光ビームを、左円偏光または右円偏光に偏光させる。例えば、QWP840または1040、或いは電氣的に切り替え可能な（電圧を印加することにより）LCを用いて、直線偏光する入射光ビームを円偏光する光に変換する。工程1320では、円偏光する光ビームが、少なくとも1つのSPGセルを用いて回折される。回折光ビームの偏光の回転方向が更に切り替えられる。例えば、円偏光する光が、左回り方向と右回り方向との間で、 1×9 型光スイッチ830の電氣的に切り替え可能な第1のLC810（または、 1×7 型光スイッチ930のLC910）を用いて切り替えられ、続いて、電氣的に切り替え可能な次段のSPG820（または、920）により、対応する角度に回

折される。別の例では、円偏光する光が、 1×8 型光スイッチ 1030 の電氣的に切り替え可能な第 1 の SPG 1020 により、対応する角度に直接回折される。

【0035】

図 14 は、LCセルおよびPPGセルを用いて光スイッチエンジンを動作させる具体的な方法 1400 を示している。例えば、方法 1400 は、光スイッチエンジン 1200 を用いて実施される。工程 1410 では、入射光ビームが、左円偏光または右円偏光に偏光される。例えば、電氣的に切り替え可能な LC を用いて、直線偏光する入射光ビームが円偏光する光に変換される。工程 1420 では、円偏光する光ビームが、少なくとも 1 対の LC セルおよび PPG セルを用いて回折される。回折光ビームの偏光の回転方向が更に切り替えられる。例えば、円偏光光は、左回り方向と右回り方向との間で、 1×4 型光スイッチ 1230 の電氣的に切り替え可能な第 1 の LC 1210 を用いて切り替えられ、続いて、電氣的に切り替え可能な次段の SPG 1250 により、対応する角度に回折される。

【0036】

本発明について、例示的な実施形態を参照して説明してきたが、この説明は、限定的な意味に解釈されてはならない。例示の実施形態の種々の変形および組み合わせ、ならびに本発明の他の実施形態は、当業者には、説明を参照することにより明らかになる。従って、添付の請求項は、このような変形または実施形態の全てを包含する。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

液晶セルと、

前記液晶セルに隣接する切り替え可能な偏光回折格子 (SPG) セルとを備え、

該 SPG は、

第 1 のガラス基板と、

前記第 1 のガラス基板を覆う第 1 の電極層と、

前記第 1 の電極層を覆う光配向層と、

前記光配向層を覆う液晶材料と、

前記液晶材料を覆う第 2 の光配向層と、

前記第 2 の光配向層を覆う第 2 の電極層と、

前記第 2 の電極層を覆う第 2 のガラス基板と

を含む、

前記第 1 の光配向層および前記第 2 の光配向層は、円偏光の回転方向が互いに反対である 2 つの干渉光ビームを使用して露光されることにより物理的に変化した感光性ポリマーを含む、

光スイッチ。

【請求項 2】

第 2 の液晶セルおよび偏光板を含む可変光減衰器 (VOA) と、

前記 VOA と前記液晶セルとの間に配置される $1/4$ 波長板と、

前記 SPG セルの後段側に配置され、かつ前記液晶セルの反対側にあるプリズムまたはミラーと、

前記 SPG セルと前記プリズムまたはミラーとの間に配置される 1 ペア以上の更に別の液晶セルおよび更に別の対応する SPG セルと

を更に備え、

前記光スイッチは、1 つの共通ポートを 3^N 個の個別ポートに光接続するように構成される 1×3^N 型光スイッチで、

ここでNは前記光スイッチの液晶セルおよび対応するSPGセルからなる対の数である

、

請求項1に記載の光スイッチ。

【請求項3】

第2の液晶セルおよび偏光板を含む可変光減衰器（VOA）と、

前記SPGセルの後段側に配置され、かつ前記液晶セルの反対側にあるプリズムまたはミラーと、

前記SPGセルと前記プリズムまたはミラーとの間に配置される1つ以上の更に別のSPGセルと

を更に備え、

前記光スイッチは、1つの共通ポートを $2^{N+1} - 1$ 個の個別ポートに光接続するように構成される $1 \times (2^{N+1} - 1)$ 型光スイッチで、

ここでNは前記光スイッチのSPGセルの数である、

請求項1に記載の光スイッチ。

【請求項4】

前記液晶セルは、入射光偏光を直線偏光から右円偏光または左円偏光に変換する切り替え可能な1/4波長板として構成される、請求項3に記載の光スイッチ。

【請求項5】

前記液晶セルおよび偏光板を含む可変光減衰器（VOA）と、

前記VOAと前記SPGセルとの間に配置される1/4波長板と、

前記SPGセルの後段側に配置され、かつ前記VOAの反対側にあるプリズムまたはミラーと、

前記SPGセルと前記プリズムまたはミラーとの間に配置される1つ以上の更に別のSPGセルと

を更に備え、

前記光スイッチは、1つの共通ポートを 2^N 個の個別ポートに光接続するように構成される 1×2^N 型光スイッチで、

ここでNは前記光スイッチのSPGセルの数である、

請求項1に記載の光スイッチ。

【請求項6】

前記液晶セルおよび前記SPGセルは共に、波長チャネル数に対応する複数の画素を含み、

該複数の画素は、かつ光スイッチポートに対応する光スイッチを通過する複数の平行ビーム光路の方向に対して垂直に配列され、

前記光スイッチは、前記光スイッチから複数の平行出力光ビームの各々までの距離がそれぞれ等しくなるように設計される、

請求項1に記載の光スイッチ。

【請求項7】

1つ以上の入射光ビームを前記液晶セルおよび前記SPGセルに送信するとともに前記液晶セルおよび前記SPGセルから受信するファイバアレイと、

前記光路上にあって、前記ファイバアレイの後段側に配置されるマイクロレンズアレイと、

前記光路上であって前記マイクロレンズアレイの後段側に配置されるビーム偏向器と、

前記光路上であって前記ビーム偏向器の後段側に配置される1/2波長板アレイと、

前記光路上であって前記1/2波長板アレイと前記SPGセルを有する前記液晶セルとの間に配置されるシリンドリカルレンズと、

前記光路上で前記シリンドリカルレンズの後方に位置する前記液晶セルおよび前記SPGセルに対向し、かつ前記シリンドリカルレンズを通過する光ビームを反対方向に反射して前記シリンドリカルレンズを通過させるように配置されるシリンドリカル反射ミラーと

、

前記光路上で前記シリンドリカルレンズの後方に位置する前記シリンドリカル反射ミラーに対向し、かつ前記シリンドリカルレンズを通過する光ビームを前記シリンドリカルレンズへ戻るように回折させるように配置される回折格子と
を更に備える、請求項 1 に記載の光スイッチ。

【請求項 8】

前記 S P G セルは、電圧が印加されていない状態または第 1 の電圧が前記第 1 の電極層と前記第 2 の第 1 の電極層との間に印加されている状態で、円偏光を所定方向に有する入射光ビームを回折させ、かつ前記回折入射光ビームの円偏光の回転方向を反転させるように構成される、請求項 1 に記載の光スイッチ。

【請求項 9】

前記 S P G セルは、第 2 の電圧が前記第 1 の電極層と前記第 2 の第 1 の電極層との間に印加されている状態で、回折も偏光の変化も起こすことなく入射光ビームに前記 S P G セルを通過させるように構成される、請求項 8 に記載の光スイッチ。

【請求項 10】

前記液晶セルは、電圧が印加されていない状態または第 1 の電圧が前記液晶セルの両端に印加されている状態で、円偏光の回転方向を反転させた後に、前記円偏光を有する入射光ビームを通過させて前記 S P G セルに到達させるか、あるいはそのかわりに、第 2 の電圧が前記液晶セルの両端に印加されている状態で、前記円偏光の回転方向を変化させることなく前記入射光ビームを通過させるように構成される、請求項 1 に記載の光スイッチ。

【請求項 11】

液晶セルと、

前記液晶セルに隣接するポリマー液晶偏光回折格子 (P P G) セルと
を備え、該 P P G は、

ガラス基板と、

前記ガラス基板を覆い、かつ円偏光の回転方向が互いに反対である 2 つの干渉光ビームを使用して露光されることにより物理的に変化している感光性ポリマーを含む光配向層と、

前記光配向層を前記ガラス基板の反対側で覆い、かつ均一光ビームを用いる照射により物理的に変化した重合液晶層と
を含む、光スイッチ。

【請求項 12】

第 2 の液晶セルおよび偏光板を含む可変光減衰器 (V O A) と、

前記 S P G セルの後段側に配置され、かつ前記液晶セルの反対側にあるプリズムまたはミラーと、

前記 P P G セルと前記プリズムまたはミラーとの間に配置される 1 対以上の更に別の液晶セルおよび更に別の対応する P P G セルからなる対と
を更に備え、

前記光スイッチは、1 つの共通ポートを 2^N 個の個別ポートに光接続するように構成される 1×2^N 型光スイッチで、

ここで N は前記光スイッチの液晶セル群および対応する P P G セルからなる対の数である、

請求項 11 に記載の光スイッチ。

【請求項 13】

前記液晶セルおよび前記 P P G セルは共に、波長チャネル数に対応する複数の画素を含み、

該複数の画素は、光スイッチポートに対応する前記光スイッチを通過する複数の平行ビーム光路の方向に対して垂直に配列され、

前記光スイッチは、前記光スイッチから前記複数の平行出力光ビームまでの距離がそれぞれ等しくなるように設計される、請求項 11 に記載の光スイッチ。

【請求項 14】

1つ以上の入射光ビームを前記液晶セルおよび前記PPGセルに送信するとともに、前記液晶セルおよび前記PPGセルから受信するファイバアレイと、

前記光路上であって前記ファイバアレイの後段に配置されるマイクロレンズアレイと、
前記光路上であって前記マイクロレンズアレイの後段側に配置されるビーム偏向器と、
前記光路上であって前記ビーム偏向器の後段側に配置される1/2波長板アレイと、
前記光路上であって前記1/2波長板アレイと前記PPGセルを有する前記液晶セルとの間に配置されるシリンドリカルレンズと、

前記光路上で前記シリンドリカルレンズの後方に位置する前記液晶セルおよび前記SPGセルに対向し、かつ前記シリンドリカルレンズを通過する光ビームを反対方向に反射して前記シリンドリカルレンズを通過させるように配置されるシリンドリカル反射ミラーと

、
前記光路上で前記シリンドリカルレンズの後方に位置する前記シリンドリカル反射ミラーに対向し、かつ前記シリンドリカルレンズを通過する光ビームを前記シリンドリカルレンズへ戻るように回折させるように配置される回折格子と
を更に備える、請求項11に記載の光スイッチ。

【請求項15】

前記液晶セルは、電圧が印加されていない状態、または第1の電圧が前記液晶セルの両端に印加されている状態で、前記円偏光の回転方向を反転させた後に、円偏光を有する入射光ビームを通過させて前記PPGセルに到達させるか、あるいはその代わりに、第2の電圧が前記液晶セルの両端に印加されている状態で、前記円偏光の回転方向を反転させることなく前記入射光ビームを通過させるように構成される、請求項11に記載の光スイッチ。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/CN2013/071130
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
See the extra sheet		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
IPC: G02B, G02F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
WPI, EPODOC, CNKI, CNPAT, CNIXT, USTXT, GOOGLE: wavelength selective, optical, switch, WSS, liquid crystal, LC, polarization grating, PG, alignment, electrode, layer, structure, polarizer, prism, mirror, wave		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO2011014743A2 (NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY et al.) 03 Feb. 2011 (03.02.2011) paragraphs 0003,0088-0098 in the description; figures 1A-2B,6A-7B	1,6,8-10
A		2-5,7,11-15
X	WO2008130559A2 (NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY) 30 Oct. 2008 (30.10.2008) paragraphs 0038-0040, 0045-0046 in the description; figure 4B	11,13,15
A		1-10,12,14
A	US7499608B1 (COADNA PHOTONICS, INC.) 03 Mar. 2009 (03.03.2009) the whole document	1-15
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ 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 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "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) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "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 "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 "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 "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 17 Apr. 2013 (17.04.2013)		Date of mailing of the international search report 16 May 2013 (16.05.2013)
Name and mailing address of the ISA/CN The State Intellectual Property Office, the P.R.China 6 Xitucheng Rd., Jimen Bridge, Haidian District, Beijing, China 100088 Facsimile No. 86-10-62019451		Authorized officer LIU, Yi Telephone No. (86-10)62413335

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2013/071130

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2011014743 A2	03.02.2011	WO 2011014743 A3	19.05.2011
		US 2012188467 A1	26.07.2012
WO 2008130559 A2	30.10.2008	WO 2008130559 A3	18.12.2008
		EP 2137571 A2	30.12.2009
		KR 20100024388 A	05.03.2010
		CN 101681064 A	24.03.2010
		JP 2010525395 A	22.07.2010
		US 2010231847 A1	16.09.2010
		EP 2137571 B1	14.11.2012
US7499608B1	03.03.2009	US7492986B1	17.02.2009
		US2008087378A1	17.04.2008
		US7909958B2	22.03.2011

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2013/071130

Continuation of: CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 26/08 (2006.01) i

G02F 1/13 (2006.01) i

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
G 0 2 F 1/01 (2006.01) G 0 2 F 1/01 A

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

(74)代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦

(74)代理人 100091214
 弁理士 大貫 進介

(72)発明者 マオ, チョンチャン
 中国 5 1 8 1 2 9 グアンドン シェンチェン ロンガン・ディストリクト バンティエン ホ
 アウェイ・アドミニストレーション・ビルディング

(72)発明者 リ, ミンチュン
 中国 5 1 8 1 2 9 グアンドン シェンチェン ロンガン・ディストリクト バンティエン ホ
 アウェイ・アドミニストレーション・ビルディング

(72)発明者 チェン, ボ
 中国 5 1 8 1 2 9 グアンドン シェンチェン ロンガン・ディストリクト バンティエン ホ
 アウェイ・アドミニストレーション・ビルディング

(72)発明者 ファン, ヤン
 中国 5 1 8 1 2 9 グアンドン シェンチェン ロンガン・ディストリクト バンティエン ホ
 アウェイ・アドミニストレーション・ビルディング

F ターム(参考) 2H088 EA37 EA45 EA47 EA48 HA03 HA17 HA21 HA23 HA26 HA30
 JA11 LA02 MA20
 2H189 AA32 AA35 HA16 JA11 JA29 LA05 LA16 LA18 LA19 LA22
 MA15
 2H191 FA29X FA30X FA48X FA48Z FA54Z FA56X FA60X FA72X FB05 FD07
 GA08 HA12 HA33 LA40 PA87
 2H290 AA03 BA30 BA53 BD02 BF29 BF38 CA03 CB12 CB33
 2K102 AA21 BA08 BA16 BB05 BC04 BD02 DB08 DC07 DD02 EA02
 EB11