

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-78546

(P2006-78546A)

(43) 公開日 平成18年3月23日(2006.3.23)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)  
**G02B 6/02 (2006.01)** G02B 6/10 C 2H050  
 G02B 6/16

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2004-259563 (P2004-259563)  
 (22) 出願日 平成16年9月7日(2004.9.7)

特許法第30条第1項適用申請有り 2004年3月8日  
 日 社団法人電子情報通信学会発行の「E i C電子情報通信学会2004年総合大会講演論文集」に発表

(71) 出願人 304023994  
 国立大学法人山梨大学  
 山梨県甲府市武田四丁目4番37号  
 (74) 代理人 100083116  
 弁理士 松浦 憲三  
 (72) 発明者 埴 雅典  
 山梨県甲府市武田4丁目3-11 国立大学法人山梨大学内  
 Fターム(参考) 2H050 AC82

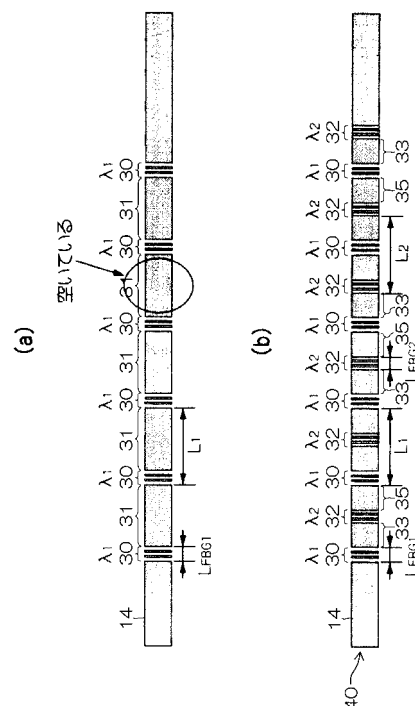
(54) 【発明の名称】 高密度光くし型フィルタ及びその作製方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 小型で高密度のくし型フィルタを簡易に作製することができる高密度光くし型フィルタ及びその作製方法を提供する。

【解決手段】 感光性光ファイバのコア14にサブグレーティング(サブFBG30)を所定間隔で配置した超格子構造ファイバグレーティング(SSFBG)を形成すると共に、ブラッグ波長 $\lambda_1$ のサブFBG30の間にブラッグ波長 $\lambda_2$ のサブFBG32を配置して2つのSSFBGを形成する。このインタリーブ型超格子構造ファイバグレーティング(ISSFBG)によって、くし型反射特性の反射ピークを高密度化する。

【選択図】 図11



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

実質的に同一の反射帯域を有するサブグレーティングを離散的かつ等間隔に配置したくし型反射特性を有する複数の超格子構造グレーティングが一次元光導波路に形成され、

前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングが他の超格子構造グレーティングのサブグレーティングの間に形成されると共に、前記各超格子構造グレーティングのくし型反射特性の反射ピークの波長が他の超格子構造グレーティングのくし型反射特性の反射ピークの波長の間となるように前記各超格子構造グレーティングが異なるくし型反射特性を有して形成されることを特徴とする高密度光くし型フィルタ作製方法。

## 【請求項 2】

前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、実質的に同一の反射帯域を有する均一グレーティングピッチのグレーティングであることを特徴とする請求項 1 記載の高密度光くし型フィルタ作製方法。

## 【請求項 3】

前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、実質的に同一の反射帯域を有するアボダイズグレーティングであることを特徴とする請求項 1 記載の高密度光くし型フィルタ作製方法。

## 【請求項 4】

前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、実質的に同一の反射帯域を有するチャープグレーティングであることを特徴とする請求項 1 記載の高密度光くし型フィルタ作製方法。

## 【請求項 5】

前記複数の超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、前記くし型特性を有する光フィルタのくし型特性の反射ピークの波長間隔が実質的に一定となるような間隔で配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のうちいずれか 1 に記載の高密度光くし型フィルタ作製方法。

## 【請求項 6】

前記複数の超格子構造グレーティングのサブグレーティングの反射特性は、全て実質的に同一であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちいずれか 1 に記載の高密度光くし型フィルタ作製方法。

## 【請求項 7】

前記複数の超格子構造グレーティングのサブグレーティングの反射特性は、各々異なることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちいずれか 1 に記載の高密度光くし型フィルタ作製方法。

## 【請求項 8】

実質的に同一の反射帯域を有するサブグレーティングを離散的かつ等間隔に配置したくし型反射特性を有する複数の超格子構造グレーティングが一次元光導波路に形成され、

前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングが他の超格子構造グレーティングのサブグレーティングの間に形成されると共に、前記各超格子構造グレーティングのくし型反射特性の反射ピークの波長が他の超格子構造グレーティングのくし型反射特性の反射ピークの波長の間となるように前記各超格子構造グレーティングが異なるくし型反射特性を有することを特徴とする高密度光くし型フィルタ。

## 【請求項 9】

前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、実質的に同一の反射帯域を有する均一グレーティングピッチのグレーティングであることを特徴とする請求項 8 記載の高密度光くし型フィルタ。

## 【請求項 10】

前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、実質的に同一の反射帯域を有するアボダイズグレーティングであることを特徴とする請求項 8 記載の高密度光くし型フィルタ。

10

20

30

40

50

## 【請求項 1 1】

前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、実質的に同一の反射帯域を有するチャープグレーティングであることを特徴とする請求項 8 記載の高密度光くし型フィルタ。

## 【請求項 1 2】

前記複数の超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、前記くし型特性を有する光フィルタのくし型特性の反射ピークの波長間隔が実質的に一定となるような間隔で配置されていることを特徴とする請求項 8 乃至 1 1 のうちいずれか 1 に記載の高密度光くし型フィルタ。

## 【請求項 1 3】

前記複数の超格子構造グレーティングのサブグレーティングの反射特性は、全て実質的に同一であることを特徴とする請求項 8 乃至 1 2 のうちいずれか 1 に記載の高密度光くし型フィルタ。

## 【請求項 1 4】

前記複数の超格子構造グレーティングのサブグレーティングの反射特性は、各々異なることを特徴とする請求項 8 乃至 1 2 のうちいずれか 1 に記載の高密度光くし型フィルタ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は高密度光くし型フィルタ及びその作製方法に係り、特にインタリーブにより超格子構造グレーティングのくし型反射特性を高密度化する高密度光くし型フィルタ及びその作製方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、全光ネットワークの実現に向けて研究が行われており、様々な光信号処理技術が必要とされている。光信号処理技術の実装手段の一つとして、光ファイバなどの一次元光導波路のコア内に屈折率変化による回折格子を形成したブラッググレーティングという光デバイスが知られている。中でも光ファイバのコアに回折格子を形成したデバイスはファイバグレーティング (FBG: Fiber Bragg Grating) と呼ばれており (例えば特許文献 1, 2 参照)、小型で安価なデバイスであり、また、光ファイバとの親和性が高いという特徴がある。尚、本発明は FBG に限定されるものではなく、平面光導波路に作製するブラッググレーティングなどにも適用が可能であるが、本明細書では FBG を例にして説明する。

## 【0003】

また、FBG を応用したファイバグレーティング型デバイスの 1 つに超格子構造ファイバグレーティング (SSFBG: Super Structure Fiber Bragg Grating (別名: 標本化ファイバグレーティング (Sampled (Fiber) Grating))) が知られている。SSFBG は、光ファイバのコア内に FBG (サブ FBG) を離散的かつ等間隔に配置したもので、くし型の反射特性を持つ光くし型フィルタとして機能する。SSFBG は、多波長の光を一括してフィルタリングできるため、多波長光源や WDM 通信システム等においてシステムの低価格化や簡易化を実現するデバイスとして期待されている。

## 【0004】

更に、SSFBG のくし型特性を高密度化する技術として多点位相シフト (MPS) 法が提案されている (例えば、那須悠介、山下真司: “DWDM 用スーパーストラクチャーファイバブラッググレーティングの新しい作成法 - 位相マスク走査法と多点位相シフト法 - ”、電子情報通信学会技術研究報告 OFT 2001-43 (2001-10)、又は、特許文献 3 等参照)。通常の SSFBG においてくし型特性を高密度化するためにはサブ FBG の間隔を広くする必要があり、そのためにデバイス長が長く (~ 数十 cm) なるが、長いデバイスは不便である上に、簡便に FBG を作製できる位相マスク法では位相マスク長によって全長が制限されるため現実的ではない。これに対して多点位相シフト法は、あ

10

20

30

40

50

る間隔でサブFBGが配置されたSSFBGにおいて、サブFBGの間にUV(紫外)光を照射して光路長を延ばし、かつ、適切な位相シフトを与える方法であり、サブFBGの間隔を短く保ったままくし型特性を高密度化することができる。

【特許文献1】特許第2521708号公報

【特許文献2】特開平06 235808号公報

【特許文献3】特開2003-4926号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、多点位相シフト法では、位相シフト量の制御が困難であるため、所望の特性のSSFBGを簡易に作製することができないという欠点があった。 10

【0006】

本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、小型で高密度のくし型フィルタを簡易に作製することができる高密度光くし型フィルタ及びその作製方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記目的を達成するために、請求項1に記載の高密度光くし型フィルタ作製方法は、実質的に同一の反射帯域を有するサブグレーティングを離散的かつ等間隔に配置したくし型反射特性を有する複数の超格子構造グレーティングが一次元光導波路に形成され、前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングが他の超格子構造グレーティングのサブグレーティングの間に形成されると共に、前記各超格子構造グレーティングのくし型反射特性の反射ピークの波長が他の超格子構造グレーティングのくし型反射特性の反射ピークの波長の間となるように前記各超格子構造グレーティングが異なるくし型反射特性を有して形成されることを特徴としている。 20

【0008】

本発明によれば、インタリーブされた複数の超格子構造グレーティングによってくし型反射特性が高密度化されると共に、各超格子構造グレーティングを構成するサブグレーティングが他の超格子構造グレーティングを構成するサブグレーティングの間に形成されるため、デバイス長を短く保ったままで高密度のくし型フィルタを作製することができる。 30  
また、本発明により作製するくし型フィルタは超格子構造グレーティングを作製するための従来の方法を用いることができるため簡易に作製することができる。

【0009】

請求項2に記載の高密度光くし型フィルタ作製方法は、請求項1に記載の発明において、前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、実質的に同一の反射帯域を有する均一グレーティングピッチのグレーティングであることを特徴としている。

【0010】

請求項3に記載の高密度光くし型フィルタ作製方法は、請求項1に記載の発明において、前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、実質的に同一の反射帯域を有するアポダイズグレーティングであることを特徴としている。アポダイズグレーティングは一次元光導波路の長手方向に対して屈折率変化量を変化させたグレーティングである。 40

【0011】

請求項4に記載の高密度光くし型フィルタ作製方法は、請求項1に記載の発明において、前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、実質的に同一の反射帯域を有するチャープグレーティングであることを特徴としている。チャープグレーティングは一次元光導波路の長手方向に対して屈折率変化の周期を変化させたグレーティングである。

【0012】

請求項5に記載の高密度光くし型フィルタ作製方法は、請求項1乃至4のうちいずれか 50

1に記載の発明において、前記複数の超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、前記くし型特性を有する光フィルタのくし型特性の反射ピークの波長間隔が実質的に一定となるような間隔で配置されていることを特徴としている。

【0013】

請求項6に記載の高密度光くし型フィルタ作製方法は、請求項1乃至5のうちいずれか1に記載の発明において、前記複数の超格子構造グレーティングのサブグレーティングの反射特性は、全て実質的に同一であることを特徴としている。

【0014】

請求項7に記載の高密度光くし型フィルタ作製方法は、請求項1乃至5のうちいずれか1に記載の発明において、前記複数の超格子構造グレーティングのサブグレーティングの反射特性は、各々異なることを特徴としている。

10

【0015】

請求項8に記載の高密度光くし型フィルタは、実質的に同一の反射帯域を有するサブグレーティングを離散的かつ等間隔に配置したくし型反射特性を有する複数の超格子構造グレーティングが一次元光導波路に形成され、前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングが他の超格子構造グレーティングのサブグレーティングの間に形成されると共に、前記各超格子構造グレーティングのくし型反射特性の反射ピークの波長が他の超格子構造グレーティングのくし型反射特性の反射ピークの波長の間となるように前記各超格子構造グレーティングが異なるくし型反射特性を有することを特徴としている。本発明によれば、インタリーブされた複数の超格子構造グレーティングによってくし型反射特性が高密度化されると共に、各超格子構造グレーティングを構成するサブグレーティングが他の超格子構造グレーティングを構成するサブグレーティングの間に形成されるため、デバイス長を短く保ったままで高密度のくし型フィルタを実現することができる。また、本発明により作製するくし型フィルタは超格子構造グレーティングを作製するための従来の方法を用いることができるため簡易に作製することができる。

20

【0016】

請求項9に記載の高密度光くし型フィルタは、請求項8に記載の発明において、前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、実質的に同一の反射帯域を有する均一グレーティングピッチのグレーティングであることを特徴としている。

【0017】

請求項10に記載の高密度光くし型フィルタは、請求項8に記載の発明において、前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、実質的に同一の反射帯域を有するアボダイズグレーティングであることを特徴としている。

30

【0018】

請求項11に記載の高密度光くし型フィルタは、請求項8に記載の発明において、前記各超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、実質的に同一の反射帯域を有するチャープグレーティングであることを特徴としている。

【0019】

請求項12に記載の高密度光くし型フィルタは、請求項8乃至11のうちいずれか1に記載の発明において、前記複数の超格子構造グレーティングのサブグレーティングは、前記くし型特性を有する光フィルタのくし型特性の反射ピークの波長間隔が実質的に一定となるような間隔で配置されていることを特徴としている。

40

【0020】

請求項13に記載の高密度光くし型フィルタは、請求項8乃至12のうちいずれか1に記載の発明において、前記複数の超格子構造グレーティングのサブグレーティングの反射特性は、全て実質的に同一であることを特徴としている。

【0021】

請求項14に記載の高密度光くし型フィルタは、請求項8乃至12のうちいずれか1に記載の発明において、前記複数の超格子構造グレーティングのサブグレーティングの反射特性は、各々異なることを特徴としている。

50

## 【発明の効果】

## 【0022】

本発明に係る高密度光くし型フィルタ及びその作製方法によれば、小型で高密度のくし型フィルタを簡易に作製することができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0023】

以下、添付図面に従って本発明に係る高密度光くし型フィルタ及びその作製方法の実施の形態について詳説する。本実施の形態では本発明に係る高密度光くし型フィルタの一例としてインタリーブ超格子構造ファイバグレーティングについて説明する。

## 【0024】

## 1. 基礎原理

まず、本実施の形態で説明するインタリーブ超格子構造ファイバグレーティングの基礎原理について説明する。

## 【0025】

## 1.1 ファイバグレーティング

## 1.1.1 ファイバグレーティングの原理

ファイバグレーティング (FBG: Fiber Bragg Grating) とは感光性光ファイバに UV (紫外) 光を当てることによって起こる屈折率変化を利用して感光性光ファイバのコア内に周期的な屈折率変化を作り、ブラッグ回折格子を形成したファイバ型の光デバイスである。この FBG の構造を図 1 に示すと、同図に示すように FBG 10 は、感光性ファイバ 12 のコア 14 に、ファイバ軸方向に向かって周期  $\Lambda$  で屈折率が周期的に変化する屈折率変化を有した構造となっている。この FBG は図 2 に示すようにファイバのコア 14 に入射した入射光のうち、次式 (1) に示すブラッグ条件に従うブラッグ波長を回折 (反射) し、それ以外の波長を透過する特徴がある。

## 【0026】

$$\Lambda = 2 \cdot n_{eff} \cdot \Lambda_{gr} \quad \dots (1)$$

ここで、 $\Lambda$  はブラッグ回折格子によって回折されるブラッグ波長、 $n_{eff}$  はコア内の有効屈折率、 $\Lambda_{gr}$  は屈折率変化の周期を示している。以後、屈折率変化の周期  $\Lambda_{gr}$  をグレーティングピッチと呼ぶことにする。

## 【0027】

図 3 は、縦軸に屈折率  $n$ 、横軸にファイバ軸方向の位置  $z$  をとり、ファイバ軸方向に対する屈折率変化を示した図である。ファイバのコア内に周期的な屈折率変化が作られたときに、有効屈折率  $n_{eff}$  はファイバのコア内での屈折率の平均値を示し、屈折率変調度  $\Delta n_{eff}$  は有効屈折率  $n_{eff}$  からの屈折率の変化量を表す。

## 【0028】

図 4 (a) は、縦軸に屈折率変調度  $\Delta n_{eff}$ 、横軸にファイバ軸方向の位置  $z$  をとり、コア内での屈折率の変化を表している。この屈折率の変化の包絡線は屈折率プロファイルと呼ばれており、一般的に屈折率プロファイルと FBG の反射特性はフーリエ変換の関係になる。図 4 (a) の例では屈折率プロファイルが矩形なので FBG の反射特性は sinc 型になる。その FBG の sinc 型の反射特性をデシベル表記で表した図 4 (b) が示すように、FBG はブラッグ波長  $\Lambda$  近傍の光を反射する光フィルタとして利用でき、屈折率プロファイルの制御によって様々な特性の光フィルタを実現することが可能である。

## 【0029】

## 1.2 ファイバグレーティングの作製方法

## 1.2.1 位相マスク法

FBG を作製する方法は色々あるが、その中で一般的に用いられている位相マスク法を本実施の形態で説明するインタリーブ超格子構造ファイバグレーティングの作製に使用する。尚、位相マスク法に限らず、例えば二光束干渉法等の他の方法によって作製することもできる。位相マスク法では、図 5 に示すような位相マスク 24 が使用される。位相マスク 24 は、平らで高品質な石英ガラスのプレート 20 の表面上に浮き彫り構造の回折格子

10

20

30

40

50

22を形成したものである。この位相マスク24に、ある波長のUV光を入射すると入射されたUV光は回折し、回折光がファイバのコア内で干渉する。例えば、本実施の形態におけるインタリーブ超格子構造ファイバグレーティングの作製では、全長3cm、浮き彫り構造(回折格子)のピッチ1071nmの位相マスクが使用され、その位相マスクに波長248nmのUV光が入射される。その場合に、0次回折光が5%以下、±1次回折光がそれぞれ約35%、±1次回折角が約13.4°となる。従って、ファイバのコア内で起こる干渉はほとんど±1次回折光によって生じる。以後、浮き彫り構造のピッチを $p_{mask}$ とし、マスクピッチと呼ぶ。

#### 【0030】

位相マスク法の原理を図6を用いて説明する。同図(a)に示すように感光性光ファイバ12を位相マスク24の直後(下面)に密着させて配置し、上からUV光を照射する。照射されたUV光は位相マスク24を通過する際に回折を起こし、+1次回折光と-1次回折光が感光性光ファイバ12のコア14内で干渉し、干渉縞を形成する。このとき干渉縞は位相マスク24のピッチの半分の周期で形成される。同図(b)に示すように干渉が強い部分では屈折率変調度 $n_{eff}$ が大きくなり、干渉が弱い部分では屈折率変調度 $n_{eff}$ が小さくなるため、干渉縞と同じ周期で感光性光ファイバ12のコア14内にグレーティングが作られる。

#### 【0031】

##### 1.2.2 チルト法

FBGのブラッグ波長を変える方法について説明する。位相マスク法はマスクピッチ $p_{mask}$ でFBGのグレーティングピッチ $p_{fbg}$ が決まる。そこでブラッグ波長の異なるFBGを作るためには目的のブラッグ波長に合わせたマスクピッチの位相マスクを使うことが必要となる。本実施の形態におけるインタリーブ超格子構造ファイバグレーティングの作製では、後述のようにブラッグ波長の異なる2種類のFBGを作製する必要があり、各ブラッグ波長に合わせた2つの位相マスクが必要となる。しかし位相マスクは高価であるため、1つの位相マスクでブラッグ波長を変化させることができるチルト法を用いる。

#### 【0032】

一般的にチルト法によってファイバのコア内に形成されるFBG(チルトグレーティング)は図7のように位相マスク24に対して感光性ファイバ12に傾きを与えることで作製される。位相マスク24に対して感光性ファイバ12を角度 $\theta$ だけ傾けて作製したFBGの回折格子は同図に示すようにファイバ軸に対して斜めに作られるため、ファイバ軸から見るとグレーティングピッチが $p_{fbg} / \cos \theta$ になる。このためブラッグ波長は次式(2)、

$$\lambda_{bragg} = 2 \cdot n_{eff} \cdot (p_{mask} / \cos \theta) \cdot \sin \theta \quad \dots (2)$$

となり、長波長側に変化することがわかる。

#### 【0033】

##### 1.3 超格子構造ファイバグレーティング

超格子構造ファイバグレーティング(SSFBG: Superstructure fiber Bragg grating)は感光性ファイバのコア内にFBGを離散的かつ等間隔に配置したデバイスである。SSFBGの構造を図8に示す。同図に示すようにファイバのコア14にFBG30、30、30、...が等間隔に配置されており、FBG30、30、30と、FBGが形成されていない空隙部31、31、31、...とが交互に配置されている。ここで個々のFBGをサブグレーティング(サブFBG)と呼ぶ。また、各サブFBG30、30、30、...の上部に示す $\lambda_1$ は、各サブFBG30単体でのブラッグ波長を示し、全てのサブFBG30のブラッグ波長が同一であることを示している。また、本実施の形態のインタリーブ超格子構造ファイバグレーティングでは同一のコア内に2つのSSFBGが形成されるが、そのうちの1つは、例えば、同図に示すようにサブFBG30のグレーティング長(サブFBG長)が0.4mm、サブFBGの間隔(サブFBG間隔)が2mmとなっている。

#### 【0034】

図9(a)、(b)に示すように、SSFBGの反射特性はフーリエ変換の関係からく

10

20

30

40

50

し型の反射特性を持つ。SSFBGはサブFBG長を長くすると反射特性の波長帯域幅が狭くなり、サブFBG間隔を長くすると反射ピークの密度が狭くなり、サブFBG数を増やすと反射特性の個々の反射ピークが細くかつ反射率が高くなる特徴がある。

#### 【0035】

一般的にSSFBGの反射ピークを高密度化するにはサブFBG間隔を長くすればよい。例として密度を2倍、3倍にした時のSSFBGの構造と反射特性を図10(a)、(b)、(c)に示す。同図(a)のサブFBG間隔(2mm)を基準として、同図(b)はサブFBG間隔が2倍(4mm)の場合、同図(c)はサブFBG間隔(6mm)が3倍の場合を示している。これによればピーク密度がサブFBG間隔に反比例していることがわかる。

10

#### 【0036】

このように反射ピークの密度を2倍、3倍と高密度化するには、サブFBG間隔をそれぞれ2倍、3倍に長くする必要がある。この方法を用いて反射ピークの高密度化を行うと、高密度化するにつれて全長が長くなる。例えば、10GHz間隔のピークを持つ高密度くし型フィルタを作る場合、サブFBG間隔を約1cmにしなければならず、十分な反射率を持つフィルタを作るためにサブFBG数を15個とすると全長が約15cmにもなる。この15cmという長さはデバイスとして大きくて扱いにくく、また、位相マスク法を利用してSSFBGを作製する場合には位相マスクの長さによって長さが制限されてしまうために、製造が難しく現実的ではない。

#### 【0037】

##### 2. インタリーブ超格子構造ファイバグレーティング

##### 2.1 インタリーブ法を用いた超格子構造ファイバグレーティング

本実施の形態のインタリーブ超格子構造ファイバグレーティング(ISSFBG: Interleaved superstructure fiber Bragg grating)は、小型で高密度の光くし型フィルタを作製する方法としてインタリーブ法を用いて作製される。

20

#### 【0038】

##### 2.1.1 インタリーブ法

図11(a)は通常のSSFBGの構造を示しており、同図に示すようにファイバのコア14に等間隔で生成されるブラッグ波長 $\lambda_1$ のサブFBG30、30、30、...の間(空隙部31、31、31、...)は使われていない。そこで、インタリーブ法とは、この使われていない部分にもFBGを作製して利用する方法である。図11(b)は、インタリーブ法によって作製された本実施の形態のインタリーブ超格子構造ファイバグレーティング(ISSFBG)40の構造を示している。同図に示すようにファイバのコア14に図11(a)のSSFBGと同様にサブFBG30、30、30...が形成され、各サブFBGの間にそのブラッグ波長 $\lambda_1$ と異なるブラッグ波長 $\lambda_2$ のサブFBG32、32、32、...が挟み込まれて2つのSSFBGが形成される。これによって、ファイバのコア14にサブFBG30、空隙部33、サブFBG32、空隙部35、サブFBG30、...のようにサブFBG30とサブFBG32が空隙部33、35を挟んで交互に配置される。このように構成されるISSFBG40は、デバイス長をSSFBGと同様に短く保つことができ、1.2.1節で説明した位相マスク法を使用してSSFBGを作製する場合と同様にして簡便に作製することができる。従来、この方法は例えば1560nm帯と1300nm帯の信号を同時にフィルタリングする方法として提案されている。これによれば、反射波長の帯域が十分に異なると、互いの反射特性が干渉しないため互いのサブFBGを透明とみなせることを利用している。

30

40

#### 【0039】

##### 2.1.2 インタリーブ超格子構造ファイバグレーティング

本実施の形態のインタリーブ超格子構造ファイバグレーティング(ISSFBG)では、インタリーブ法を2つの離れた帯域で使用するのではなく、ほぼ同じ波長で利用することで、SSFBGのくし型特性を高密度化する。具体例として図11(b)に示したISSFBG40の構造において各サブFBG30のブラッグ波長 $\lambda_1$ を1552.02nm

50



とし、それらのサブFBG30で構成されるSSFBG(第1のSSFBGという)のサブFBG長 $L_{FBG1}$ を0.4mm、サブFBG間隔 $L_1$ を2mm、サブFBG数 $N_{FBG1}$ を12個とし、一方、各サブFBG32のブラッグ波長 $\lambda_2$ を1552.22nmとし、それらのサブFBG32で構成されるSSFBG(第2のSSFBGという)のサブFBG長 $L_{FBG2}$ を0.40005mm、サブFBG間隔 $L_2$ を2.000268mm、サブFBG数 $N_{FBG2}$ を12個とするISSFBGを作製した場合について示す。図12(a)は、第1のSSFBGの反射特性を示し、図12(b)は、第2のSSFBGの反射特性を示している。このとき、図12(a)の反射特性を持つ第1のSSFBGに、中心波長が反射ピーク間隔の半分だけずれた反射ピークを持つ図12(b)の反射特性の第2のSSFBGを挟み込むと、2つの反射特性が線形加算され、図12(c)のような反射特性を持つ高密度なくし型特性が得られるようになる。

10

#### 【0040】

このようなくし型特性の反射ピークを2倍に高密度するならば、図13に示すようにISSFBG40を構成する第1のSSFBG42と第2のSSFBG44として、各SSFBGのサブFBGで反射された光波の位相がずつずれたSSFBGを2個挟み込めばよい。もし、N倍に高密度化したければ位相が $2\pi/N$ ずつずれたSSFBGをN個挟み込めばよい。尚、位相が $2\pi/N$ ずつずれたSSFBGをN個挟み込むと、くし型特性の反射ピークの波長間隔が実質的に一定となるが、必ずしも反射ピークの波長間隔は一定でなくてもよい。

#### 【0041】

ここでSSFBGの反射特性は、SSFBGを構成する各サブFBGによって反射される光波間の位相差が $2\pi n$ ( $n$ は整数)となる波長でピークを持ち、 $(2n+1)\lambda/2$ ( $n$ は整数)となる波長で谷となる。ある波長での位相差の計算は次式(3)から求めることができる。

20

#### 【0042】

$$P = 2 \cdot ((2L \cdot n_{eff})\% \lambda) / \lambda \dots (3)$$

$L$ はサブFBG間隔であり、 $((2L \cdot n_{eff})\% \lambda)$ は往復の光路長 $(2L \cdot n_{eff})$ を波長 $\lambda$ で割った剰余を表す。例えば1550nm帯を使用する場合にはサブFBG間隔が約500nm変わると位相が $2\pi$ 変化する。図12(b)に示すような位相のずれたSSFBGを得るために行う位相の制御には、十数nm程度の微小なサブFBG間隔の制御が必要となる。

30

#### 【0043】

本実施の形態では、まず第1のSSFBGを図15のように作製した後、図16のようにして作製した。これにより、同一のステージの移動量 $L$ に対し、第2のSSFBGではサブFBG間隔は $L/\cos\theta$ となり、 $\theta$ の制御によって微小な間隔の制御が可能となった。

#### 【0044】

また、第1のSSFBGのサブFBGのブラッグ波長 $\lambda_1$ と第2のSSFBGのサブFBGのブラッグ波長 $\lambda_2$ とは同一であってもサブFBG間隔のみの調整によってくし型特性の高密度化が図れるが、上記具体例では、第2のSSFBGにおけるサブFBGのブラッグ波長 $\lambda_2$ (中心波長)も長波長側にシフトさせた場合を示している。この場合に、第2のSSFBGのサブFBGは、1.2.2節で説明したチルト法を用いることによって第1のSSFBGのサブFBGと同一の位相マスクを使用して作製することができる。但し、マスクピッチが異なる位相マスクを使用してもよい。

40

#### 【0045】

##### 3. ISSFBGを用いたくし型フィルタ装置

図14は、本実施の形態のISSFBGを利用して構成されるくし型フィルタ装置の一例を示した構成図である。同図において、くし型フィルタ装置50は、本実施の形態のISSFBG40と、光サーキュレータ52と、光アンプ54から構成されている。光サーキュレータ52は第1端子52A、第2端子52B、及び、第3端子52Cの3つの端子

50

を備えており、第1端子52Aは、くし型フィルタ装置50の入力端子50Aに接続されている。同図では、くし型フィルタ装置50の入力端子50Aには例えば広い帯域幅の光を出射する光源56が接続されており、その光源56から出射された光が光サーキュレータ52の第1端子52Aに入射されるようになっている。

【0046】

光サーキュレータ52の第2端子52BにはISSFBG40が接続されており、光サーキュレータ52の第1端子52Aに入射した光は第2端子52Bから出射されてISSFBG40に入射する。ISSFBG40では、入射した光の波長のうち、図12(c)に示したようにISSFBG40の高密度なくし型反射特性によって選出される波長の光が反射される。そして、ISSFBG40によって反射した光は、光サーキュレータ52の第2端子52Bに入射する。

10

【0047】

光サーキュレータ52の第3端子52Cには、光アンプ54が接続されており、ISSFBG40で反射されて光サーキュレータ52の第2端子52Bに入射した光は、第3端子54Cから出射されて光アンプ54に入射する。光アンプ54に入射した光は光アンプ54によって増幅されてくし型フィルタ装置50の出力端子50Bからフィルタ出力として出力される。このように構成されたくし型フィルタ装置50によってくし型フィルタ装置50に入力された光の波長のうち、ISSFBG40のくし型反射特性によって反射される波長の光がフィルタ装置50から出力される。

【0048】

以上、上記実施の形態では、ISSFBGを2つのSSFBGをインタリーブした場合を示したが、2個より多くのSSFBGをインタリーブすることによってより高密度なくし型特性を有するISSFBGを作製することができる。

20

【0049】

また、上記実施の形態では位相マスク法を用いて本発明に係るISSFBGの各サブFBGを作製する場合について説明したが、FBGを作製する他の方法を用いて本発明に係るISSFBGを作製してもよい。

【0050】

また、上記実施の形態ではISSFBGの各SSFBGのサブFBGを均一グレーティングピッチのグレーティングとしたが、各SSFBGのサブFBGは、アポダイズグレーティング又はチャープグレーティングであってもよい。尚、アポダイズグレーティングとは周知のようにファイバのコアの長手方向に対して屈折率変化量を変化させたグレーティングであり、チャープグレーティングとは周知のようにファイバのコアの長手方向に対して屈折率変化の周期を変化させたグレーティングである。

30

【0051】

ここで、各SSFBGのサブFBGをアポダイズグレーティング又はチャープグレーティングとする場合に、各SSFBGのアポダイズグレーティング又はチャープグレーティングの反射特性は、全て実質的に同一（反射帯域及び反射率が同一）であってもよいし、また、反射帯域が実質的に同一で反射率が異なる場合であってもよい。

【0052】

また、上記実施の形態では、光ファイバに高密度なくし型特性を有するくし型フィルタを作製する場合について説明したが、上記ISSFBGと同様に光ファイバ以外のメディア、例えば平面型の光導波路（一次元光導波路）に複数の超格子構造グレーティングをインタリーブにより形成して高密度なくし型フィルタを作製することもできる。

40

【図面の簡単な説明】

【0053】

【図1】ファイバグレーティングの構造を示した図。

【図2】ファイバグレーティングが形成されるファイバのコアを示した図。

【図3】ファイバグレーティングの屈折率変化の説明に使用した図。

【図4】ファイバグレーティングの反射特性の説明に使用した図。

50

- 【図5】位相マスクを上から見た図。
- 【図6】位相マスク法の原理の説明に使用した図。
- 【図7】チルト法によるFBGの作製の説明に使用した図。
- 【図8】超格子構造ファイバグレーティングの構造を示した図。
- 【図9】超格子構造ファイバグレーティングの反射特性を示した図。
- 【図10】超格子構造ファイバグレーティングにおいてサブFBG間隔を変更した場合の反射特性を示した図。
- 【図11】インタリーブ法の説明に使用した図。
- 【図12】本実施の形態のインタリーブ超格子構造ファイバグレーティングの説明に使用した図。
- 【図13】位相の説明に使用した図。
- 【図14】本実施の形態のインタリーブ超格子構造ファイバグレーティングを用いたくし型フィルタ装置の一例を示した構成図。
- 【図15】本実施の形態のインタリーブ超格子構造ファイバグレーティングを位相マスクを使用して作製する場合の一例を示した図。
- 【図16】本実施の形態のインタリーブ超格子構造ファイバグレーティングを位相マスクを使用して作製する場合の一例を示した図。

10

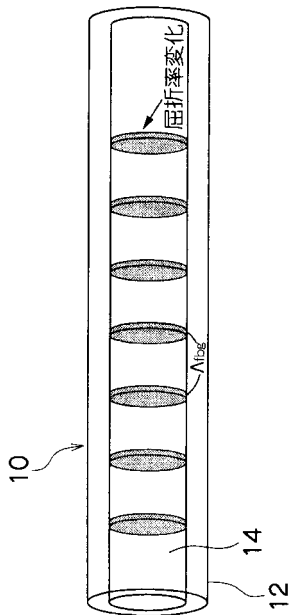
【符号の説明】

【0054】

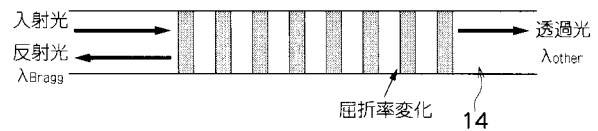
10 ... ファイバグレーティング (FBG)、12 ... 感光性ファイバ、14 ... コア、22 ... 回折格子、24 ... 位相マスク、30、32 ... サブFBG、31、33、35 ... 空隙部、40 ... ISSFBG、50 ... くし型フィルタ装置、52 ... 光サーキュレータ、54 ... 光アンプ、56 ... 光源

20

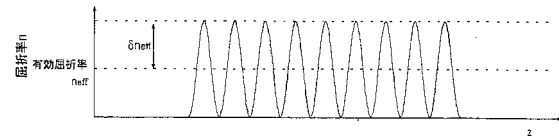
【図1】



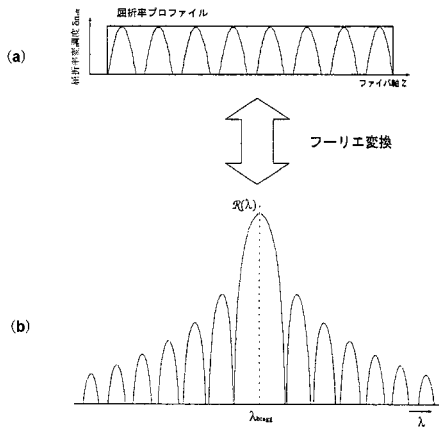
【図2】



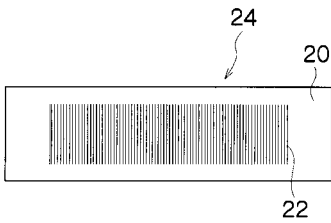
【図3】



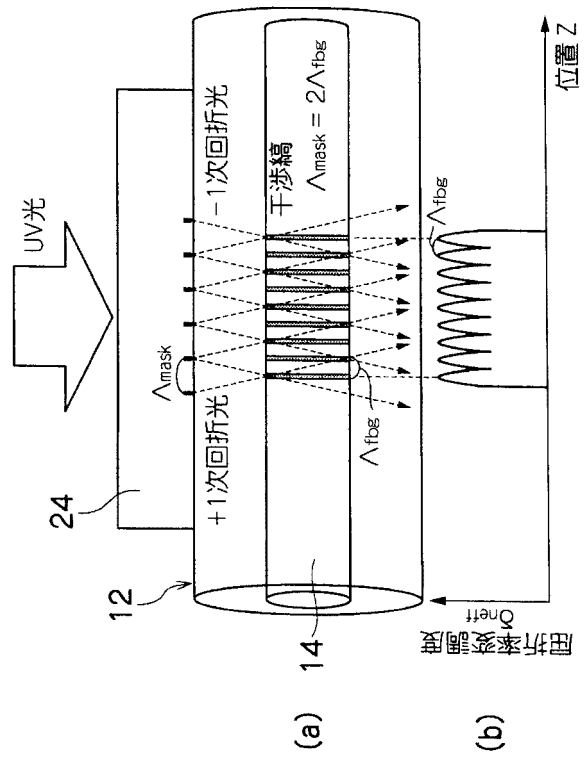
【 図 4 】



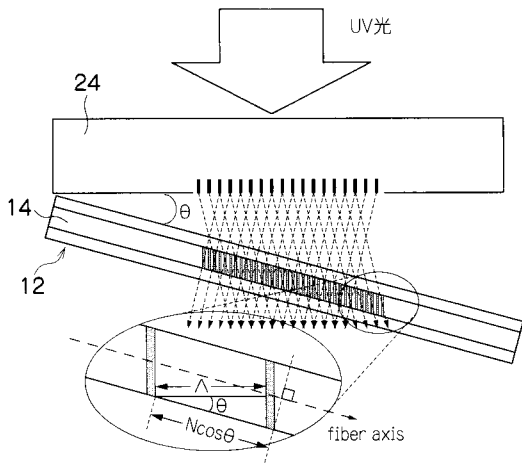
【 図 5 】



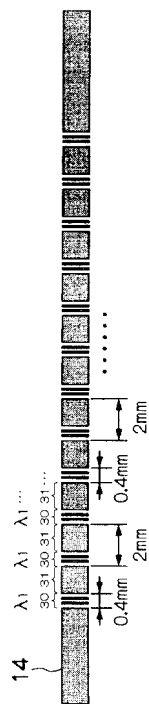
【 図 6 】



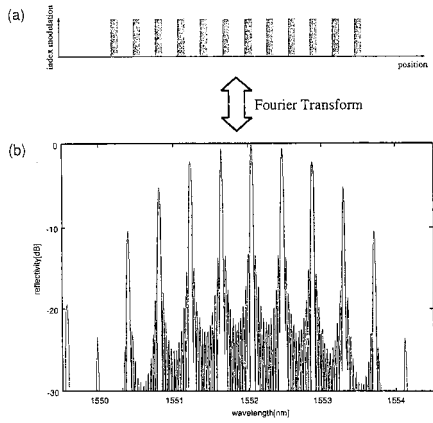
【 図 7 】



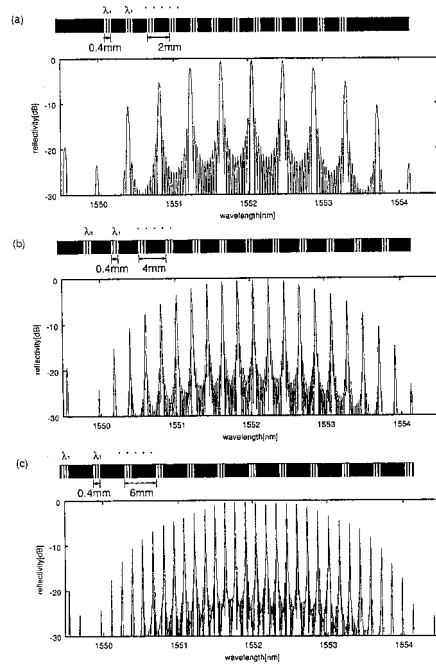
【 図 8 】



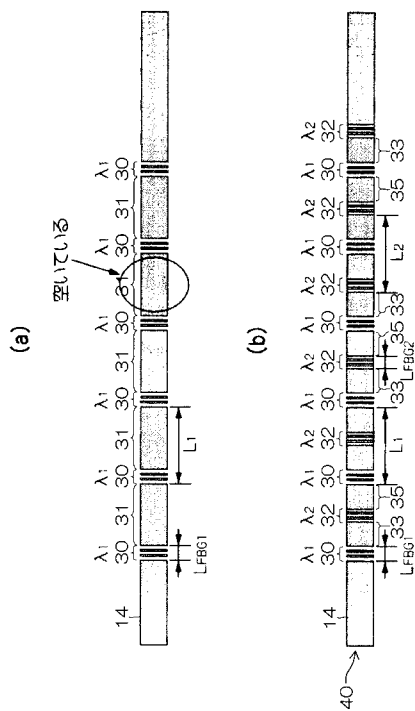
【 図 9 】



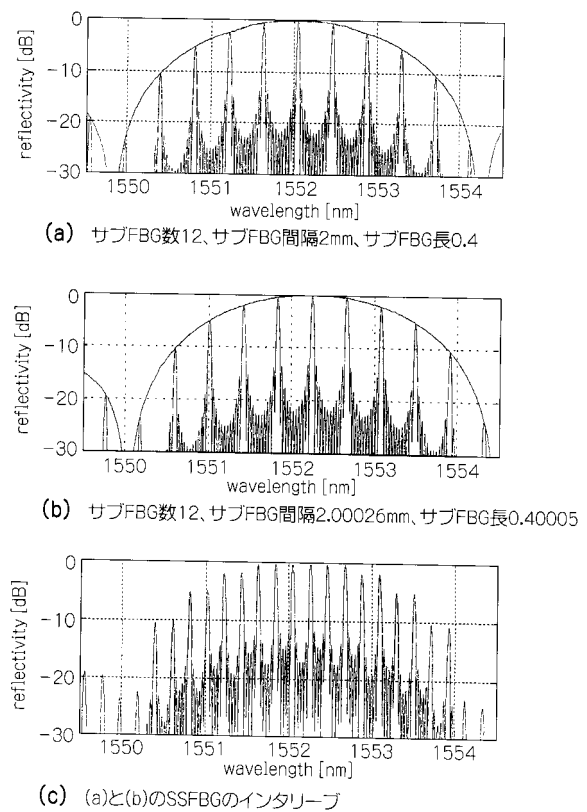
【 図 10 】



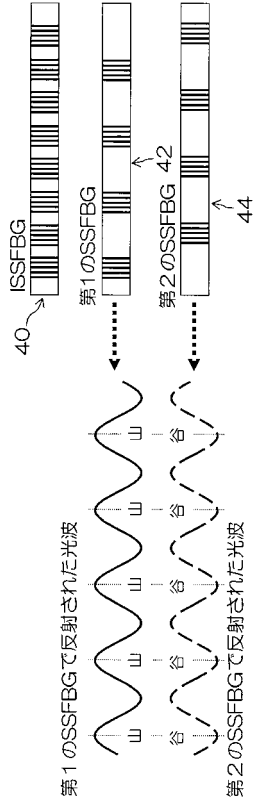
【 図 11 】



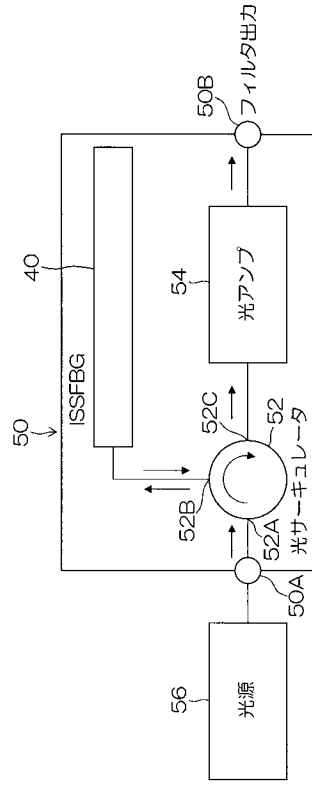
【 図 12 】



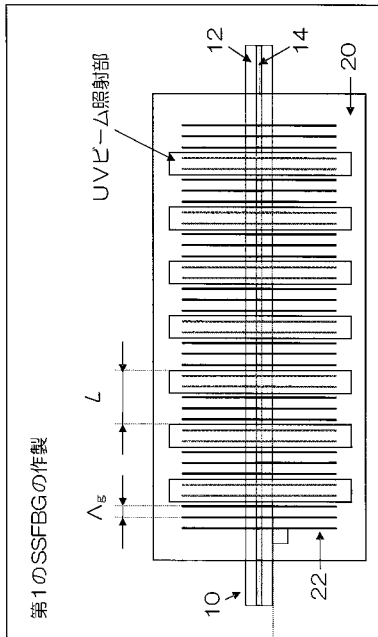
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

