

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3627093号  
(P3627093)

(45) 発行日 平成17年3月9日(2005.3.9)

(24) 登録日 平成16年12月17日(2004.12.17)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

G O 2 B 5/18

G O 2 B 5/18

G O 2 B 5/26

G O 2 B 5/26

請求項の数 4 (全 8 頁)

|           |                              |           |                                     |
|-----------|------------------------------|-----------|-------------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願平11-79051                  | (73) 特許権者 | 000205627                           |
| (22) 出願日  | 平成11年3月24日(1999.3.24)        |           | 大阪府                                 |
| (65) 公開番号 | 特開2000-275415(P2000-275415A) |           | 大阪府大阪市中央区大手前2丁目1番22号                |
| (43) 公開日  | 平成12年10月6日(2000.10.6)        | (73) 特許権者 | 503360115                           |
| 審査請求日     | 平成14年3月20日(2002.3.20)        |           | 独立行政法人科学技術振興機構<br>埼玉県川口市本町4丁目1番8号   |
|           |                              | (74) 代理人  | 100065215<br>弁理士 三枝 英二              |
|           |                              | (72) 発明者  | 岩田 耕一<br>大阪府河内長野市大師町18番1号           |
|           |                              | (72) 発明者  | 菊田 久雄<br>兵庫県西宮市高須町2丁目1番19-22<br>02号 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 共振モード格子フィルター

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

格子面内に2つの等価な共振光の波数ベクトルを生じさせるように、二次元に配列された格子構造を有する格子層を備え、  
前記2つの共振光の波数ベクトルは、入射光の入射面に対して対称であることを特徴とする共振モード格子フィルター。

【請求項2】

前記格子層の格子構造は、凹部又は凸部を格子状に複数配列することにより形成され、前記凹部又は凸部は、鏡面对称且つ回転対称な形状を有し、前記凹部又は凸部の二等分線上に前記入射光の入射面が位置することを特徴とする請求項1に記載の共振モード格子フィルター。

【請求項3】

前記凹部又は凸部の形状は、ひし形であることを特徴とする請求項2に記載の共振モード格子フィルター。

【請求項4】

前記格子層の格子構造は、凹部又は凸部を市松模様状に複数配列することにより形成され、前記凹部又は凸部は、鏡面对称且つ回転対称な形状を有し、前記凹部又は凸部の二等分線上に前記入射光の入射面が位置することを特徴とする請求項1に記載の共振モード格子フィルター。

【発明の詳細な説明】

10

20

## 【 0 0 0 1 】

## 【 発明の属する技術分野 】

本発明は、共振モード格子フィルタに関し、特に、偏光依存性を改善した二次元格子の共振モード格子フィルタに関するものである。

## 【 0 0 0 2 】

## 【 従来技術 】

近年のめざましい加工技術の発展により、光の波長と同程度又はそれ以下の微細加工が可能になり、光の波長と同程度の周期を持つ回折格子を作成することが可能になっている。該回折格子では、格子ピッチがある共振条件を満たすと共振現象が発生し、強い反射が起こる。これは、回折格子におけるアノマリーの現象の一つであるが、この現象を利用することにより、共振モード格子フィルタと呼ばれる非常に帯域の狭い反射型の波長フィルタを作成することができる。

10

## 【 0 0 0 3 】

共振モード格子フィルタについての研究は、近年途についたばかりであり、1985年に Mashev と Popov が初めて、共振モードを用いた反射フィルタを提案し、波長 633 nm の可視光による実験を行っている (L. Mashev and E. Popov, "Zero order anomaly of dielectric coated gratings", Optics Comm. 55, 6, 377-380 (1985))。その後、しばらく年をあけて、1994年に Wang と Magnusson が反射防止膜の理論を用いて、共振波長以外の波長での反射率を 0% 近くに抑えた反射フィルタの数値計算を行っている (S. S. Wang and R. Magnusson, "Design of waveguide-grating filters with symmetrical line shapes and low side bands", Optics Lett. 19, 919-921 (1994))。また、1995年には同じ Wang と Magnusson が透過フィルタの提案を行っている (R. Magnusson and S. S. Wang, "Transmission bandpass guided-mode resonance filters", Appl. Opt. 34, 35, 8106-8109 (1995))。さらに、1996年には、Morris が初めて格子構造を二次元にし、垂直入射での偏光依存性をなくした反射フィルタの数値計算と波長 780 nm の赤外光による実験を行っている (S. Peng and G. M. Morris, "Resonant Scattering from two-dimensional gratings", J. Opt. Soc. Am. A 13, 5, 993-1005 (1996)), "Experimental demonstration of resonant anomalies in diffraction from two dimensional gratings", Optics Lett. 21, 8, 549-551 (1996))。

20

30

## 【 0 0 0 4 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

上記の共振モード格子フィルタの用途として、分光における狭帯域フィルタ等があり、この場合、偏光特性を持たないフィルタや、入射角が垂直以外のものが求められる。しかしながら、上記の従来の一次元構造の共振モード格子フィルタは、その反射特性が本質的に偏光に依存するため、上記の用途に用いることができなかった。また、上記の従来 of 二次元構造の共振モード格子フィルタは、入射光が格子面に垂直に入射するものであり、入射光が格子面に対して斜めから入射する場合に、偏光依存性をなくすことができず、共振モード格子フィルタの用途が制限されていた。

40

## 【 0 0 0 5 】

本発明の目的は、入射光が格子面に対して斜めから入射する場合に偏光依存性を改善することができる共振モード格子フィルタを提供することにある。

## 【 0 0 0 6 】

50

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記目的を達成するため、格子面内に2つの等価な共振光の波数ベクトルを生じさせるように、二次元に配列された格子構造を有する格子層を備え、前記2つの共振光の波数ベクトルは、入射光の入射面に対して対称であることを特徴とする共振モード格子フィルターを提供するものである。

【0007】

また、前記格子層の格子構造は、凹部又は凸部を格子状に複数配列することにより形成され、前記凹部又は凸部は、鏡面对称且つ回転対称な形状を有し、前記凹部又は凸部の二等分線上に前記入射光の入射面が位置することが好ましい。また、前記凹部又は凸部の形状は、ひし形であることが好ましい。

10

【0008】

また、前記格子層の格子構造は、凹部又は凸部を市松模様状に複数配列することにより形成され、前記凹部又は凸部は、鏡面对称且つ回転対称な形状を有し、前記凹部又は凸部の二等分線上に前記入射光の入射面が位置することが好ましい。

【発明の実施の形態】

以下、本発明の一実施の形態の共振モード格子フィルターについて図面を参照しながら説明する。図1は、本発明の第一の実施の形態の共振モード格子フィルターの構成を示す斜視図であり、図2は、図1に示す共振モード格子フィルターと入射光との関係を説明するための説明図であり、図3は、図1に示す共振モード格子フィルターにより偏光依存性を解消する原理を説明するための説明図であり、図4は、図1に示す共振モード格子フィルターの反射光の波長と反射率との関係を示すグラフである。

20

【0009】

図1に示すように、本実施の形態の共振モード格子フィルターは、格子層1、導波層2、及び基板3を備える。基板3の上には、導波層2が形成され、導波層2の上には、格子層1が形成される。格子層1には、格子状に所定ピッチで複数の矩形の凹部4が形成され、凹部4、例えば空気と、凹部4以外の部分の低屈折率の媒質とから格子層1が構成され、高屈折率の導波層2が導波路となる。なお、格子層1は、凹部4の代わりに複数の凸部からなる格子層を用いてもよく、凹部部分に屈折率の異なる他の媒質を充填してもよい。また、導波層2は、共振波長以外の反射率を低くするために設けたものであり、省略することも可能である。格子層1に形成される凹部又は凸部の形状は、格子面内に2つの等価な共振波数ベクトルを生じさせるために、鏡面对称且つ回転対称な形状を有し、正方形であることが好ましいが、円形、楕円形、瓢箪形等の他の形状であってもよく、格子層1に形成される格子の数も、特に限定されるものでなく、該フィルターに必要とされる性能等に応じて適時決定される。なお、本明細書において、回転対称な形状とは、該形状を180度回転させたときに元の形状に重なる形状をいう。

30

【0010】

図2に示すように、格子層1と直交する方向に対して角度  $\theta$  だけ傾けて入射される入射光Iの入射面Pは、以下に説明する2つの共振光の波数ベクトルが入射光の入射面に対して対称になるように、方位角  $45^\circ$ （入射面が格子の正方形の一辺となす角度）になるように設定される。このとき、入射光Iは、格子層1により共振を起こし、特定波長の反射光Rが反射される。以下の説明では、入射光がTEモード（層に対し電場が平行に振動しながら進むモード）で伝搬する場合について説明するが、TMモード（層に対し磁場が平行に振動しながら進むモード）で伝搬する場合にも本発明を同様に適用することができる。

40

【0011】

上記の場合、図3に示すように、p偏光入射の光は、右上及び右下にそれぞれTEモードで伝播し、s偏光入射の光も、同じ方向にTEモードで伝播する。本実施の形態では、p偏光入射で伝播する伝播定数を  $p -$  とし、s偏光入射で伝播する伝播定数を  $s -$  とし、入射光の波数ベクトルの接線成分を  $k$  とし、二つの共振光の波数ベクトルである格子ベクトルを  $K$  とすると、 $k$  と  $K$  のベクトルの和が、 $p -$  及び  $s -$  に等しくなるように格

50

子ピッチ ( $= 2 / K$ ) が設定されている。従って、入射光の入射面に対して対称な 2 つの等価な共振波数ベクトルを格子面内を生じさせることができ、p 偏光入射及び s 偏光入射の共振波長を一致させるとともに、共振波長の半値幅を一致させることができる。この結果、入射光が格子面に対して斜めから入射する場合に偏光依存性をなくすることができる。また、本実施の形態では、入射光の入射角度を調整することにより、フィルターに製造誤差があった場合、所望の波長で共振を得ることができ、また、中心波長を移動させることもできる。

#### 【0012】

次に、具体例として、格子層 1 と直交する方向に対して  $10^\circ$  傾けた波長 (例えば  $688 \text{ nm}$ ) の入射光を用いる場合についてさらに詳細に説明する。共振モード格子フィルターは、基板 3 として石英 (屈折率  $1.467$ )、導波層 2 として厚さ  $230 \text{ nm}$  の  $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜 (屈折率  $2.1$ )、格子層 1 として厚さ  $176 \text{ nm}$  の電子線レジスト (屈折率  $1.559$ ) を用い、格子層 1 に、格子ピッチ が  $604 \text{ nm}$  でデューティー比  $f$  が  $0.8$  (正方形の一辺の長さが約  $483 \text{ nm}$ ) の凹部 4 を形成する。この場合、図 4 に示すように (図 4 中の横軸の波長は入射光の波長 に対して正規化した値を表す)、p 偏光入射と s 偏光入射とで共振波長のピークが一致するとともに、半値幅も、p 偏光入射が  $0.5 \times 10^{-3} \text{ (m)}$ 、s 偏光入射が  $0.5 \times 10^{-3} \text{ (m)}$  と一致している。

#### 【0013】

なお、上記の共振モード格子フィルターは、例えば、以下のようにして作成することができ、以下の各実施の形態も同様である。まず、LP-CVD (Low Pressure - Chemical Vapor Deposition) を用いて石英基板上に  $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜を成膜し、その上にポジ型の電子線レジスト (日本ゼノン株式会社製  $\text{Zep520-12}$  とレジスト用シンナーとを重量比  $1:0.5$  の比で混合した混合液) を塗布する。次に、電子ビーム描画装置 (日本電子株式会社製  $\text{JBX-5000SI}$ ) を用い、該レジストに格子パターンを描画面積約  $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 、露光量  $75 \text{ (}\mu\text{C/cm}^2\text{)}$ 、ビーム電流  $70 \text{ (pA)}$ 、描画時間約  $15$  時間で描画する。最後に現像を行い、格子パターンを作成する。

#### 【0014】

次に、本発明の第二の実施の形態の共振モード格子フィルターについて説明する。図 5 は、本発明の第二の実施の形態の共振モード格子フィルターの構成を示す斜視図であり、図 6 は、図 5 に示す共振モード格子フィルターにより偏光依存性を解消する原理を説明するための説明図であり、図 7 は、図 5 に示す共振モード格子フィルターの反射光の波長と反射率との関係を示すグラフである。図 5 に示す共振モード格子フィルターは、正方形の凹部 4 をひし形の凹部 4 a に変更するとともにその格子ピッチを変更した点を除き、その他の点は図 1 に示す共振モード格子フィルターと同様であるので、以下異なる点のみについて詳細に説明する。

#### 【0015】

図 1 に示す共振モード格子フィルターは、入射光の角度 が大きくなると、入射光の波数ベクトルの接線成分  $k$  が大きくなり、二つの伝播定数  $p^-$  (又は  $s^-$ ) の関係が直交関係から離れていく。この結果、デューティー比  $f$  が大きくなり、凹部間の線幅が狭くなって製造が困難になる場合がある。本実施の形態の共振モード格子フィルターは、この点を改善するものである。

#### 【0016】

図 5 に示すように、格子層 1 a には、格子状に所定ピッチで複数のひし形の凹部 4 a が形成されている。この場合、図 6 に示すように、格子形状としてひし形を用いて格子構造を上下方向に引き延ばし、p 偏光入射の光は、左上及び左下にそれぞれ TE モードで伝播し、s 偏光入射の光も、同じ方向に TE モードで伝播する。この結果、入射光の波数ベクトルの接線成分  $k$  と格子ベクトル  $K$  との和である二つの伝播定数  $p^-$  (又は  $s^-$ ) が直交関係になり、ひし形の凹部 4 a 間の線幅を広くすることができる。

#### 【0017】

10

20

30

40

50

具体例として、格子層 1 a と直交する方向に対して  $45^\circ$  傾けた波長（例えば  $688\text{ nm}$ ）の入射光を用いる場合、 $y$  方向の格子ピッチ  $y$  が  $781\text{ nm}$ 、 $x$  方向の格子ピッチ  $x$  が  $503\text{ nm}$ 、 $y$  方向のデューティ比  $f_y$  が  $0.7$ （ひし形の長対角線の長さが約  $547\text{ nm}$ ）、 $x$  向のデューティ比  $f_x$  が  $0.7$ （ひし形の短対角線の長さが約  $352\text{ nm}$ ）となり、ひし形の凹部 4 a 間の線幅  $L$  は、約  $200\text{ nm}$  になり、製造が容易となる。この場合も、図 7 に示すように、 $p$  偏光入射と  $s$  偏光入射とで共振波長のピークが一致するとともに、半値幅もほぼ一致している。

#### 【0018】

次に、本発明の第三の実施の形態の共振モード格子フィルタについて説明する。図 8 は、本発明の第三の実施の形態の共振モード格子フィルタの構成を示す斜視図であり、図 9 は、図 8 に示す共振モード格子フィルタにより偏光依存性を解消する原理を説明するための説明図であり、図 10 は、図 8 に示す共振モード格子フィルタの反射光の波長と反射率との関係を示すグラフである。図 8 に示す共振モード格子フィルタは、正方形の凹部 4 が格子状に配列され、正方形の対角線上に入射光の入射面が位置するかわりに、長方形の凸部 4 b が市松模様状に配列されるとともにその格子ピッチが変更され、長方形の二等分線上に入射光の入射面が位置する点を除き、その他の点は図 1 に示す共振モード格子フィルタと同様であるので、以下異なる点のみについて詳細に説明する。

#### 【0019】

通常の場合、 $x$  方向及び  $y$  方向のみの矩形パターンを描画するのは得意であるが、図 5 に示す共振モード格子フィルタに用いられるひし形のような傾斜線を持つパターンを描画しようとするとき、長時間を要し、製造効率がよくない。本実施の形態の共振モード格子フィルタは、この点を改善するものである。

#### 【0020】

図 8 に示すように、格子層 1 b には、市松模様状に所定ピッチで複数の矩形の凸部 4 b が形成されている。この場合も、図 9 に示すように、入射光の波数ベクトルの接線成分  $k$  と格子ベクトル  $K$  との和である二つの伝播定数  $p$  - （又は  $s$  - ）が直交関係になり、凸部 4 b 間の線幅を広くすることができる。

#### 【0021】

具体例として、格子層 1 b と直交する方向に対して  $45^\circ$  傾けた波長（例えば  $688\text{ nm}$ ）の入射光を用いる場合、 $y$  方向の格子ピッチ  $y$  が  $870\text{ nm}$ 、 $x$  方向の格子ピッチ  $x$  が  $539\text{ nm}$ 、 $y$  方向のデューティ比  $f_y (= d/c)$  が  $0.92$ 、 $x$  向のデューティ比  $f_x (= b/a)$  が  $0.92$  となり、凸部 4 b 間の線幅  $L$  を約  $200\text{ nm}$  することができる。従って、製造が容易となるとともに、矩形パターンで描画できるので、描画時間も短縮することができる。この場合も、図 10 に示すように、 $p$  偏光入射と  $s$  偏光入射とで共振波長のピークが一致するとともに、半値幅もほぼ一致している。

#### 【0022】

上記のように、本発明の共振モード格子フィルタは偏光依存性を改善することができ、例えば、波長分割多重化 (WDM) 伝送システム、ノイズ・フィルタリング用光通信システム等に好適に用いることができる。なお、上記では、本発明を反射型波長フィルタに応用する場合について説明したが、本発明は、これに特に限定されず、屈折率センサー、透過型波長フィルタ等にも同様に適用することができ、同様の効果を得ることができる。

#### 【0023】

##### 【発明の効果】

以上から明らかな通り、本発明によれば、入射光の入射面に対して対称な 2 つの等価な共振光の波数ベクトルを格子面内に生じさせることにより、入射光が格子面に対して斜めから入射する場合に偏光依存性を改善することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第一の実施の形態の共振モード格子フィルタの構成を示す斜視図である。

10

20

30

40

50

【図2】図1に示す共振モード格子フィルタと入射光との関係を説明するための説明図である。

【図3】図1に示す共振モード格子フィルタにより偏光依存性を解消する原理を説明するための説明図である。

【図4】図1に示す共振モード格子フィルタの反射光の波長と反射率との関係を示すグラフである。

【図5】本発明の第二の実施の形態の共振モード格子フィルタの構成を示す斜視図である。

【図6】図5に示す共振モード格子フィルタにより偏光依存性を解消する原理を説明するための説明図である。

【図7】図5に示す共振モード格子フィルタの反射光の波長と反射率との関係を示すグラフである。

【図8】本発明の第三の実施の形態の共振モード格子フィルタの構成を示す斜視図である。

【図9】図8に示す共振モード格子フィルタにより偏光依存性を解消する原理を説明するための説明図である。

【図10】図8に示す共振モード格子フィルタの反射光の波長と反射率との関係を示すグラフである。

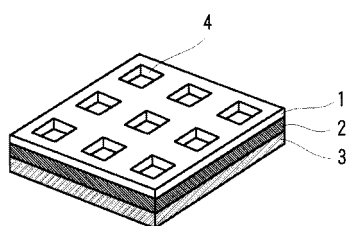
【符号の説明】

- 1、1 a、1 b 格子層
- 2 導波層
- 3 基板
- 4、4 a 凹部
- 4 b 凸部

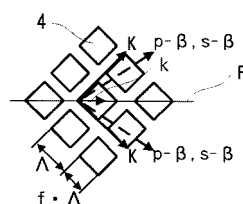
10

20

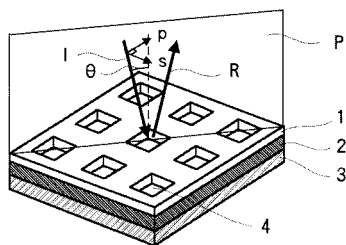
【図1】



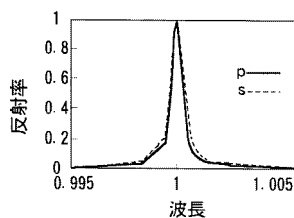
【図3】



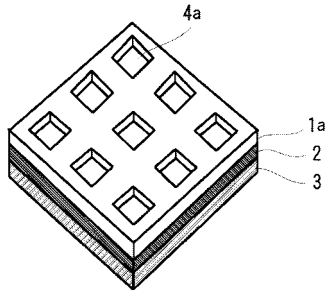
【図2】



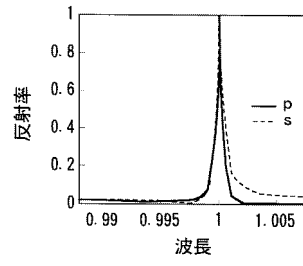
【図4】



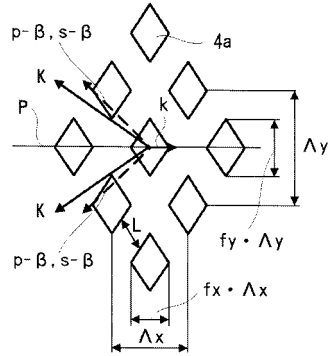
【 図 5 】



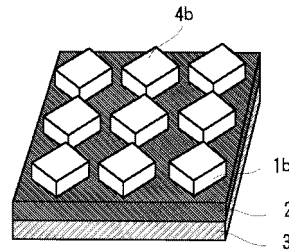
【 図 7 】



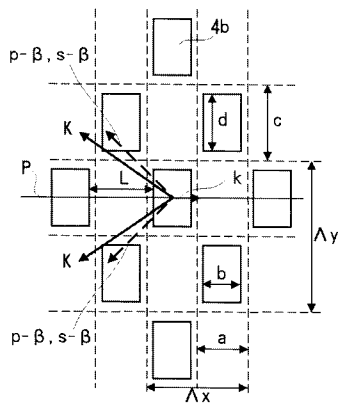
【 図 6 】



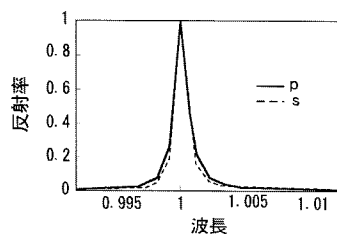
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

審査官 吉野 公夫

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, D B名)

G02B 5/18

G02B 5/26