

(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2014-134564  
(P2014-134564A)

(43) 公開日 平成26年7月24日(2014.7.24)

(51) Int.Cl.

G02B 5/30 (2006.01)  
G03B 21/00 (2006.01)  
G03B 21/14 (2006.01)

F 1

G02B 5/30  
G03B 21/00  
G03B 21/14

テーマコード(参考)

2H149  
2K103D  
Z

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号  
(22) 出願日特願2013-919 (P2013-919)  
平成25年1月8日 (2013.1.8)(71) 出願人 000001007  
キヤノン株式会社  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
(74) 代理人 100110412  
弁理士 藤元 亮輔  
(74) 代理人 100104628  
弁理士 水本 敦也  
(74) 代理人 100121614  
弁理士 平山 優也  
(72) 発明者 山口 裕  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ  
ヤノン株式会社内  
F ターム(参考) 2H149 AA17 AB05 AB26 BA04 BA23  
FA41W FD03 FD47 FD48  
2K103 AA01 AA05 AA07 AB10 BC14  
BC20 CA75 CA76

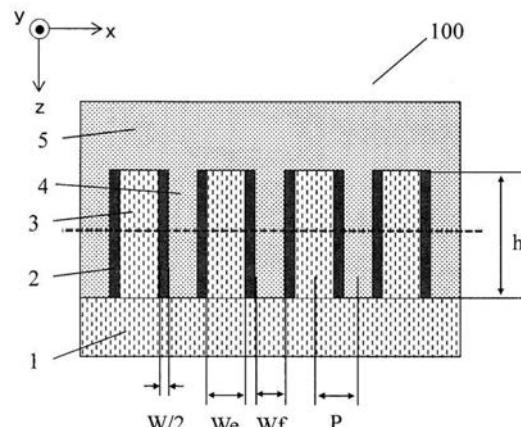
(54) 【発明の名称】吸収型ワイアグリッド偏光素子および光学機器

## (57) 【要約】

【課題】低反射で十分な消光比を有する吸収型ワイアグリッド偏光素子を提供する。

【解決手段】偏光素子は、誘電体基板の基板面上に、金属と1種類以上であるi種類の誘電体媒質とにより構成された周期構造を備える。周期構造は、金属により形成された金属格子と誘電体媒質により形成された誘電体格子とが入射光の波長より小さい格子周期で1次元方向に配列された1次元格子構造を有する。格子の全高をh、金属の複素屈折率のうち実部である屈折率をn<sub>m</sub>、虚部である消衰係数をk<sub>m</sub>、誘電体格子の平均屈折率をn<sub>b</sub>、金属格子の平均占有率をF<sub>F</sub>とするとき、以下の条件を満足する。n<sub>m</sub> 1.0、k<sub>m</sub> 2.0、0.01 F<sub>F</sub> 0.25、n<sub>b</sub> 1.40、h 250[nm]。

【選択図】図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

誘電体基板の基板面上に、金属と1種類以上である*i*種類の誘電体媒質とにより構成された周期構造を備えた偏光素子であって、

該周期構造は、前記基板面の法線に対して直交する断面において、前記金属により形成された金属格子と前記誘電体媒質により形成された誘電体格子とが入射光の波長より小さい格子周期Pで1次元方向に配列された1次元格子構造を有し、

前記格子の全高をhとし、前記入射光の波長に対する前記金属の複素屈折率のうち実部である屈折率をn<sub>m</sub>とし、該複素屈折率のうち虚部である消衰係数をk<sub>m</sub>とし、前記誘電体格子の平均屈折率をn<sub>b</sub>とし、前記格子周期Pに対する前記金属格子の平均占有率をFFとするとき、

以下の条件を満足することを特徴とする吸収型ワイヤグリッド偏光素子。

## 【数1】

$$n_m \geq 1.0, k_m \geq 2.0$$

$$0.01 \leq FF \leq 0.25$$

$$n_b \geq 1.40$$

$$h \geq 250[\text{nm}]$$

10

20

ただし、FFは、格子高さzにおける前記格子周期Pに対して前記金属格子が占める格子幅をW(z)とし、n<sub>b</sub>を*i*番目の誘電体媒質の屈折率をn<sub>i</sub>とし、格子幅をW<sub>i</sub>として、以下の式で表わされる。

## 【数2】

$$FF = \frac{1}{h} \int_0^h \frac{W(z)}{P} dz$$

$$n_b = \frac{1}{h} \int_0^h \left( \sum_i \frac{n_i^2 \cdot W_i}{W(z)} \right)^{0.5} dz, (W(z) = \sum_i W_i(z))$$

30

## 【請求項2】

前記周期構造は、前記基板面の法線に対して平行な断面において、矩形の前記誘電体格子の間に前記金属格子が形成された構造であることを特徴とする請求項1に記載の吸収型ワイヤグリッド偏光素子。

## 【請求項3】

前記周期構造は、前記基板面の法線に対して平行な断面において、三角形の前記誘電体格子の斜面上に前記金属格子が形成され、さらに前記金属格子の間に前記誘電体格子が形成された構造を有することを特徴とする請求項1に記載の吸収型ワイヤグリッド偏光素子。

## 【請求項4】

前記周期構造は、前記基板面の法線が延びる方向に、前記1次元格子構造の層が複数層積層された構造を有することを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の吸収型ワイヤグリッド偏光素子。

## 【請求項5】

積層された前記1次元格子構造の間に誘電体媒質により形成された中間層が配置されており、

前記中間層の屈折率と厚みとの積が、20nm以上300nm以下であることを特徴とする請求項4に記載の吸収型ワイヤグリッド偏光素子。

## 【請求項6】

前記周期構造が、前記基板の両側の前記基板面上に形成されていることを特徴とする請

40

50

求項 1 から 5 のいずれかに記載の吸収型ワイアグリッド偏光素子。

【請求項 7】

前記金属は、Au, Ag, Alを除く金属であって、Cr, V, W, Mo, Ta, Fe, Te, Co, Ni, Ge, Tiのいずれか又はこれらを含む合金もしくは化合物であることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の吸収型ワイアグリッド偏光素子。

【請求項 8】

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の吸収型ワイアグリッド偏光素子を有することを特徴とする光学機器。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、偏光素子に関し、特に吸収型ワイアグリッド偏光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

基板上に金属 1 次元格子が可視光波長より小さい周期で形成された偏光素子は、ワイアグリッド偏光素子と称され、格子の周期方向と平行な方向に振動する偏光光を透過し、それと直交する方向に振動する偏光光を反射することで、偏光素子として機能する。また、ワイアグリッド偏光素子は、一般に無機材料で構成されるため、吸収性色素を用いたフィルム型の偏光板に比べて耐熱性や耐UV性に優れている。このような特性から、ワイアグリッド偏光素子は、例えば液晶プロジェクタに使用された場合に、高い光密度の光が照射されても長期間にわたって偏光機能の劣化を抑えることができる等の利点がある。

20

【0003】

ただし、ワイアグリッド偏光素子は透過を抑制したい方向の偏光光を強く反射するため、反射光が迷光となって像（例えば液晶プロジェクタにおける投射画像）の形成に影響を及ぼすような個所には使用し難い。特許文献 1, 2 には、反射を抑制した吸収型ワイアグリッド偏光素子の例が開示されている。特許文献 1 には、ワイアグリッド偏光素子を構成する格子の上部に吸収体の格子を形成することにより、吸収型の偏光素子として機能する例が開示されている。また、特許文献 2 には、誘電体格子の凸部の側面に吸収体の格子および保護材質を形成することにより、吸収型の偏光素子を構成した例が開示されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2008-216956 号公報

【特許文献 2】特開 2009-300655 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献 1, 2 にて開示された吸収型偏光素子は、従来のワイアグリッド偏光素子に比べて反射率は大きく低減されているものの、反射率が 10% 程度残存しているか透過する偏光光の消光比が低いという問題がある。ここでいう消光比とは、偏光素子を透過した偏光光のうち、格子の周期方向と平行な方向に振動する偏光光の透過率と、該方向に直交する方向に振動する偏光光の透過率との比で表わされ、偏光素子の特性を示す指標である。特許文献 2 では十分な消光比を確保するために、基板のうち吸収型ワイアグリッド偏光素子を形成した面とは反対側の面に反射型のワイアグリッド偏光素子を形成する例が開示されている。しかし、その場合でも、吸収型ワイアグリッド偏光素子側から入射した光の反射は抑制されるが、その裏面側である反射型ワイアグリッド偏光素子側から入射した光の反射率は低減されない。また、透過率を確保するためには、基板の両面に形成する 2 つの偏光素子の透過軸を精密に合わせる必要があり、製造が困難である。

40

【0006】

50

発明は、基板のいずれの側から入射する光に対しても低反射であり、かつ十分な消光比を有する製造が容易な吸収型ワイヤグリッド偏光素子を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一側面としての吸収型ワイヤグリッド偏光素子は、誘電体基板の基板面上に、金属と1種類以上であるi種類の誘電体媒質とにより構成された周期構造を備える。周期構造は、基板面の法線に対して直交する断面において、金属により形成された金属格子と誘電体媒質により形成された誘電体格子とが入射光の波長より小さい格子周期Pで1次元方向に配列された1次元格子構造を有する。格子の全高をhとし、入射光の波長に対する金属の複素屈折率のうち実部である屈折率をn<sub>m</sub>とし、該複素屈折率のうち虚部である消衰係数をk<sub>m</sub>とし、誘電体格子の平均屈折率をn<sub>b</sub>とし、格子周期Pに対する金属格子の平均占有率をFFとするとき、以下の条件を満足することを特徴とする。

10

【0008】

【数1】

$$n_m \geq 1.0, k_m \geq 2.0$$

$$0.01 \leq FF \leq 0.25$$

$$n_b \geq 1.40$$

$$h \geq 250[\text{nm}]$$

20

【0009】

ただし、FFは、格子高さzにおける格子周期Pに対して金属格子が占める格子幅をW(z)とし、n<sub>b</sub>をi番目の誘電体媒質の屈折率n<sub>i</sub>とし、格子幅をW<sub>i</sub>として、以下の式で表わされる。

【0010】

【数2】

$$FF = \frac{1}{h} \int_0^h \frac{W(z)}{P} dz$$

$$n_b = \frac{1}{h} \int_0^h \left( \sum_i \frac{n_i^2 \cdot W_i}{W(z)} \right)^{0.5} dz, (W(z) = \sum_i W_i(z))$$

30

【0011】

なお、上記偏光板を用いた画像投射装置等の光学機器も、本発明の他の一側面を構成する。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、簡易な構造を有するために製造が容易であり、基板のいずれの側から入射する光に対しても低反射であり、かつ十分な消光比を有する吸収型ワイヤグリッド偏光素子を実現することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の代表的な実施例としての偏光板の構成を示す概略図。

【図2】上記偏光板の上面視断面図。

【図3】金属の消衰係数と格子部での消衰係数との比の相関を示す図。

【図4】金属の格子幅の占有率と格子周期方向と直交する偏光光に対する消衰係数との相関を示す図。

【図5】上記偏光板の製造プロセスの例を示す図。

【図6】上記偏光板の構成を示す概略図。

【図7】上記偏光板の異なる格子高さにおける上面視断面図。

50

【図8】上記偏光板の構成を示す概略図。

【図9】実施例1の偏光板の分光透過率および分光反射率を示す図。

【図10】実施例4の偏光板の分光透過率および分光反射率を示す図。

【図11】実施例5の偏光板の分光透過率および分光反射率を示す図。

【図12】本発明の実施例6としての画像投射装置の構成を示す概略図。

【図13】本発明の別の実施例としての画像投射装置の構成を示す概略図。上記画像投射装置の構成を示す概略図。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明の実施例について図面を参照しながら説明する。

10

【0015】

まず、図1を用いて、本発明の代表的な実施例としての吸収型ワイアグリッド偏光素子である偏光板100の構成について説明する。図1には、偏光板100の側面視の断面(後述する基板面の法線に平行な断面)を示している。偏光板100は、誘電体基板1の上面(以下、基板面という)に、誘電体媒質3により入射光の波長よりも小さい最小繰り返し構造周期P(以下、格子周期Pという)を有する矩形格子(誘電体格子)が形成された構造を有する。本実施例では、入射光として、可視光を想定している。

【0016】

また、各誘電体格子の側面には、格子幅がW/2で、格子高さ(全高)がhの金属格子2が形成されている。さらに、金属格子2間の隙間には、誘電体媒質4が充填されている。金属格子2および誘電体格子3,4により構成される領域を合わせて1次元格子部という。1次元格子部の上部は媒質5により被覆された構造となっている。基板1と誘電体格子3,4と媒質5とは互いに異なる媒質でもよい。

20

【0017】

また、図1の右上に示した座標系において、基板面の法線に対して平行な方向をz方向とし、格子周期Pの繰り返し方向(以下、格子周期方向という)をx方向とし、xおよびz方向に直交する方向をy方向としている。図1は、xz断面を示している。

【0018】

また、図2には、図1に点線で示した位置、すなわち1次元格子部の格子高さ方向での中間位置で切断したときの偏光板100の断面(xy断面)を示している。図1および図2から分かるように、1次元格子部は、占有幅W(1の格子幅はW/2)でy方向に延びる金属格子2と、格子幅We, Wfを有する誘電体格子3,4とが、格子周期Pでx方向(1次元方向)に繰り返し配列された1次元格子構造を有する。この構造を有する偏光板100は、z方向と平行に入射する光(以下、垂直入射光という)において、x方向(格子周期方向)と平行な方向に振動する偏光光(以下、x偏光という)を透過する。また、x方向に直交するy方向(格子が延びる方向)と平行な方向に振動する偏光光(以下、y偏光という)を遮蔽する。

30

【0019】

このとき、偏光板100は、y偏光の多くを反射するのではなく吸収するために、以下の式(1), (2), (3), (4)で表される条件を満足する。すなわち、金属格子2の屈折率をn<sub>m</sub>とし、消衰係数をk<sub>m</sub>とし、金属格子2間の隙間に充填された誘電体の平均屈折率をn<sub>b</sub>とし、格子周期Pに対する金属格子2の平均占有率をFFとするとき、

40

【0020】

【数3】

$$n_m \geq 1.0, k_m \geq 2.0 \quad \cdots (1)$$

$$0.01 \leq FF \leq 0.25 \quad \cdots (2)$$

$$n_b \geq 1.40 \quad \cdots (3)$$

$$h \geq 250[\text{nm}] \quad \cdots (4)$$

50

## 【0021】

を満足する。ただし、 $n_m$ 、 $k_m$ はそれぞれ、金属の複素屈折率を $n = n_m + i k_m$ と表現したときの実部の成分と虚部の成分（消衰係数）を示す。また、式（3）中の $F_F$ は、格子高さ $z$ の位置での $x$   $y$ 断面において格子周期 $P$ に対して該金属が占める格子幅を $W(z)$ としたときに以下の式（5）で表わされる。さらに、 $n_b$ は $i$ 番目の誘電体媒質の屈折率を $n_i$ とし、格子幅を $W_i$ としたときに以下の式（6）で表わされる。

## 【0022】

## 【数4】

$$FF = \frac{1}{h} \int_0^h \frac{W(z)}{P} dz \quad \cdots (5)$$

10

$$n_b = \frac{1}{h} \int_0^h \left( \sum_i \frac{n_i^2 \cdot W_i}{W(z)} \right)^{0.5} dz, (W(z) = \sum_i W_i(z)) \quad \cdots (6)$$

## 【0023】

式（5）中の $F_F$ は、金属格子2が格子周期 $P$ に占める割合の平均値を表し、図1においては $z$ 方向に一様であるため、 $F_F = W / P$ となる。式（6）中の $n_b$ は金属格子間の誘電体媒質（誘電体格子）の平均屈折率である。金属格子間の誘電体媒質としては、1種類以上である $i$ 種類の誘電体媒質が用いられる。図1のように矩形格子で2種類の誘電体媒質が用いられる場合には、 $n_b$ は、誘電体媒質（誘電体格子）3の屈折率 $n_e$ （格子幅 $W_e$ ）と誘電体媒質（誘電体格子）4の屈折率 $n_f$ （格子幅 $W_f$ ）を用いて以下のように表現される。

20

## 【0024】

## 【数5】

$$n_b = \sqrt{\frac{n_e^2 \cdot W_e}{(W_e + W_f)} + \frac{n_f^2 \cdot W_f}{(W_e + W_f)}}$$

## 【0025】

上記4つの条件を満足することにより、 $y$ 偏光を吸収してその反射を抑えつつ、 $x$ 偏光の高い透過率と消光比を併せ持つ偏光板を得ることができる。以下、その詳細について説明する。

30

## 【0026】

ワイヤグリッド偏光板の偏光特性は、偏光板に入射する光の波長（以下、使用波長ともいう）より小さい格子周期 $P$ を有する微細周期構造による誘電率異方性に起因する。そして、該偏光特性は、1次元格子部の金属の屈折率や消衰係数、格子間の媒質の屈折率および金属格子2の格子幅 $W$ や格子高さ $h$ 等により決定される。格子周期 $P$ が使用波長よりも十分小さいとすれば、有効媒質近似の考え方から、誘電率に異方性が生じる。すなわち、1次元格子部における格子周期方向と平行な偏光光（ $x$ 偏光）が影響を受ける誘電率は格子間媒質により近く、格子周期方向と直交する偏光光（ $y$ 偏光）が影響を受ける誘電率は格子金属により近くなる。このため、 $y$ 偏光の多くは反射または吸収され、 $x$ 偏光は透過する。

40

## 【0027】

また、誘電率の異なる境界面での反射の振る舞いはフレネルの式により表され、入射媒質の屈折率を $n_{in}$ とし、射出媒質の屈折率を $n_{out}$ とすると、垂直入射光に対する反射率は、

$$R = \{ (n_{in} - n_{out}) / (n_{in} + n_{out}) \}^2$$

と表せる。金属のように消衰係数を持つ場合であっても、 $n = n + i k$ として実部をとればよい。例えば、ワイヤグリッド偏光板によく用いられるアルミニウム（屈折率1.0、消衰係数 $k = 6.8$ ）自体の空気界面での反射率は9.2%程度であり、銀では（屈折率0

50

. 1 2 5 、消衰係数  $3 . 3 ) 9 6 \%$  以上となる。このことから、金属格子 2 の幅に依存するものの、アルミや銀を用いたワイヤグリッド偏光板に入射した  $y$  偏光の多くは反射される。

【 0 0 2 8 】

反射率が高い要因の 1 つは金属自体の消衰係数が大きいことに起因する。このため、消衰係数を小さくすることで、反射が低減されると考えられる。しかし、格子の金属自体の消衰係数  $k_m$  を小さくすると、1 次元格子部における  $x$  偏光と  $y$  偏光に対する消衰係数  $k_x$  ,  $k_y$  の比  $k_y / k_x$  が小さくなり、この結果、偏光板としての消光比を確保することが難しくなる。

【 0 0 2 9 】

図 3 に、1 次元格子部における  $x$  偏光と  $y$  偏光に対する消衰係数の比  $k_y / k_x$  と、金属格子の消衰係数  $k_m$  との相関を示す。図 3 から分かるように、 $k_m$  が大きい程、 $k_y / k_x$  を大きい。このとき  $F_F = 0 . 2 5$  として計算しているが、この傾向は  $F_F$  には依存しない。 $k_y / k_x$  が小さいと、偏光板の消光比を確保するために必要な格子高さが増大するため、製造がより難しくなる。製造を考慮した現実的な厚みとするためには、 $k_y / k_x$  が 5 以上となることが望ましい。このためには、式 (1) に示した条件のように、格子に使用する金属の消衰係数  $k_m$  が 2 . 0 以上の材料を選択することが望ましく、3 . 0 以上の材料を選択することがより好ましい。

【 0 0 3 0 】

格子に用いる金属の消衰係数を高く保ったまま  $y$  偏光に対する消衰係数を低減するためには、格子周期  $P$  に占める格子幅の割合である  $F_F$  をなるべく小さくする必要がある。図 4 には、横軸にとった  $F_F$  と、縦軸にとった  $y$  偏光に対する実効的な消衰係数  $k_y$  との相関を示している。ここで計算条件は、 $k_m = 2$  ,  $n_m = 1$  および  $n_b = 1 . 4 8$  である。

【 0 0 3 1 】

図 4 から分かるように、 $F_F$  が低下するに従って  $k_y$  は一様に低下する。反射率を抑制するためには、 $k_y$  を 0 . 5 以下にすることが望ましい。そのためには、式 (2) で示した条件のように、式 (5) により求められる金属格子の占有率 (平均占有率)  $F_F$  が 0 . 2 5 以下となることが望ましく、さらには 0 . 1 5 以下を満たすことがより望ましい。式 (5) で  $F_F$  の定義を格子高さ全域にわたっての平均値としているのは、1 次元格子を構成する領域のうち局所的な一部分のみがこの条件から外れるような構成であっても、その領域が全体に対して微小であれば影響は小さく抑えられるためである。ただし、理想的には格子高さ全域にわたって式 (3) で示す条件を満足するような構成であることが望ましい。このように金属自体の消衰係数を高く保ちつつ、非常に小さな  $F_F$  を取ることで、現実的な格子高さで消光比と低反射を両立するワイヤグリッド偏光板を実現することができる。

【 0 0 3 2 】

さらに、消衰係数  $k_m$  だけでなく、屈折率  $n_m$  の大きさも低反射率化には重要である。金属の屈折率が 0 に近づくとフレネルの式は 1 に収束する。このため、金属の持つ屈折率が極端に小さい場合も反射率は増大する。したがって、ワイヤグリッド偏光板の反射をより低減するためには、消衰係数  $k_m$  だけでなく、屈折率  $n_m$  も大きな材質を用いることが望ましい。具体的には、式 (1) に示す条件のように、格子を構成する金属の屈折率  $n_m$  が 1 . 0 以上の材料を用いることが望ましく、2 . 0 以上の材質を選択することがより望ましい。このような金属としては、反射率を高める Au , Ag , Al を除く金属であって、Cr , V , W , Mo , Ta , Fe , Te , Co , Ni , Ge , Ti のいずれか又はこれらを含む合金もしくは化合物が挙げられる。ただし、これらに限らず、条件を満たす材料であれば使用可能である。

【 0 0 3 3 】

また、1 次元格子部 6 における  $x$  偏光および  $y$  偏光に対する屈折率は、格子間に充填された誘電体媒質 3 又は 4 の影響を受ける。格子間に充填された誘電体媒質の屈折率を考慮

10

20

30

40

50

し、適切に選択することで、1次元格子部と基板の間もしくは1次元格子部の上部の界面での反射を抑制することができる。具体的には、式(6)で示した金属格子間に充填された誘電体の平均屈折率  $n_b$  が、式(3)で示した条件のように、1.4以上であることを満足することが望ましい。ここで、(6)式が格子高さ全域にわたる平均値として表現されているのは、式(5)のFFと同じ理由であり、理想的には  $n_b$  についても格子高さ全域にわたって式(3)の条件を満たすことが望ましい。

#### 【0034】

上述した構成を採用することで、ワイヤグリッド偏光子におけるy偏光の反射を極力抑えることができる。しかし、このような構成ではFFが非常に小さいため、格子高さ  $h$  が低いと十分な消光比が得られない。通常のワイヤグリッドであれば格子高さが約100nm程度でも高い消光比が得られるが、本実施例のワイヤグリッド偏光板においては十分ではない。偏光板に必要とされる消光性能にも依存するが、本実施例の偏光板においては、少なくとも式(4)で示す条件のように、格子高さ  $h$  は250nm以上であることが望ましい。ただし、格子高さ250nm未満の消光比が十分ではない構成であっても、それを複数層積層することにより高い消光比を得ることが可能である。そのような場合には、偏光板の格子高さの総和を  $h$  と考えたときに、 $h$  を250nm以上とすることが望ましい。

#### 【0035】

なお、本実施例の偏光板における微細周期構造を製造する方法としては様々なものがある。例えば、図5(a)~(f)に示すようなプロセスで製造することができる。まず、基板上に誘電体格子構造を形成する。例えば、図5(a)~(c)に示すように、EBやフォトリソグラフィで格子状のマスクを形成した後にエッチングする方法がある。また、他にも微細格子を形成した型を用いて転写するナノインプリントでも形成可能である。

#### 【0036】

その後、図5(d)に示すように、格子の周囲に金属材質を薄く付着させる。この工程は、格子部に対して金属膜を蒸着したり、めっき法によって行うことができる。必要であればエッチングにより格子の上部および下部の金属膜を除去してもよい。

#### 【0037】

次に、図5(e)に示すように、スパッタ法や蒸着法等を用いて、誘電体材質を格子間に充填するように、さらには格子上部を被覆するように形成することで図1に示した形状が得られる。なお、ここで説明した製造方法は一例であり、本実施例の偏光板の製造方法がこれに限定されるわけではない。

#### 【0038】

これまで説明したように、本実施例の偏光板の特徴であるy偏光に対する低反射率化を実現するためには、式(1)~(4)で示した条件を満足する必要があるが、素子形状は図1に示すものに限らず、様々な形状でもよい。例えば、図6に示すような形状であってもよい。

#### 【0039】

図6に示した偏光板200は、基板1上(基板面)に三角形の誘電体格子である三角格子7が形成され、その上面全体を金属層8が被覆した構造を有する。さらにその上部を誘電体媒質9で覆うことで、三角格子部10がワイヤグリッド偏光板として機能する。図7(a),(b),(c)は、図6に示した三角格子部10の高さ  $h$  の上部、中間部および下部における構造のx-y断面を示している。図7から分かるように、図6の三角格子の各領域においてx-y断面で見ると1次元格子構造となっている。

#### 【0040】

使用波長より短い周期を有する微細周期構造であれば、図6に示すように、三角格子7の表面(斜面)全体が金属層8により覆われていてもワイヤグリッド偏光子として機能する。このような構造であれば、三角格子7をナノインプリントで形成した後、その斜面上に薄く金属層8を積層すればよいため、FFの小さな偏光板であっても製造が容易となる。

#### 【0041】

10

20

30

40

50

この際、格子間媒質の誘電体の平均屈折率は三角格子 7 や誘電体媒質 9 の屈折率と格子高さにより変化するが、その場合には格子高さ全体にわって平均した誘電体媒質の平均屈折率が上記の範囲を満たせばよい。このため、式(5)の  $n_b$  は格子高さ  $h$  に対して  $n_b$  の平均をとるような表現となっている。図 6 に示したように一様に比率が変化するような三角格子形状であれば、格子高さ  $h$  の半分である  $h/2$  の位置での平均屈折率  $n_b$  を求めればよい。

#### 【0042】

また他にも、図 8 に示すような金属格子を積層した構造であってもよい。図 8 に示す偏光板 300 は、基板 1 (基板面) 上に三角格子 7 が形成され、その上部の斜面全体に金属層 8 が積層され、さらにその上部を誘電体媒質 9 で被覆した構造となっている。そしてこれらで構成される三角格子部 10 が基板面の法線方向に複数層 (図では 3 層) 積層した構造からなる。三角格子部 10 の各層の格子高さを  $h_1, h_2, h_3$  とすると、その総和  $h = h_1 + h_2 + h_3$  は 250 nm 以上であることが望ましいことは前述の通りである。ただし、格子高さ  $h_1, h_2, h_3$  の大きさは任意でよく、また 3 層以上であってもよい。

10

#### 【0043】

また、各層の格子と格子の間はそれぞれ高さ  $d_1, d_2$  の誘電体層が形成されている。この  $d_1, d_2$  を制御することにより、金属格子間で生じる干渉を制御し、任意の波長で反射を抑制することができる。 $d_1, d_2$  は設計波長にも依存するが、20 nm 以上 300 nm 以下とすることが望ましい。厚くしすぎると干渉によるリップルが多く生じ、使用帯域が制限されやすいため、好ましくない。この問題は  $d_1, d_2$  を干渉領域以上に厚くすることで解決できるが、1 次元格子積層時の格子周期方向は精密に平行に合わせる必要があり、中間層をあまり厚くしすぎることは製造難度の点からも好ましくない。また、図 8 に示すような構成において式(5), (6) の計算する場合には、積分領域は 1 次元格子部のみで行えばよく、誘電体層の部分は含まない。

20

#### 【0044】

ここまで幾つかの素子形状の例を示したが、本発明の実施例としての偏光板は、ほかにも様々な構造や形状で実現可能であり、図 1、図 6 および図 8 に示した構造のみに限定されるものではない。例えば、基板の両面にこれまで説明したような構造を形成してもよい。その場合には積層構造と同様に格子高さを得られるため、消光比を確保することが容易になる。またこれらの構成の組み合わせであってもよく、用途や必要な特性に応じて最適な形態を選択すればよい。

30

#### 【0045】

本実施例によれば、簡易な構造を有するために製造が容易であり、基板のいずれの側から入射する光に対しても低反射であり、かつ十分な消光比を有する吸収型ワイヤグリッド偏光素子を実現することができる。

#### 【0046】

以下、本発明の具体的な実施例 (数値例) について説明する。

#### 【実施例 1】

#### 【0047】

実施例 1 の偏光板の基本構成は、図 1 に示した構成と同じである。格子高さ  $h$  や  $F_F$  等のパラメータをまとめて表 1 に示す。波長 550 nm における x 偏光に対する透過率  $T_x$ 、y 偏光に対する反射率  $R_y$  および消光比  $T_x / T_y$  を表 2 に示す。

40

#### 【0048】

本実施例の偏光板では、基板面上に格子周期 50 nm、格子幅 3 nm、格子高さ (全高) 1000 nm の矩形の金属格子が 1 層形成されている。金属格子の屈折率  $n_m$  は 2.0、消衰係数  $k_m$  は 3.0、 $F_F$  は 0.06 である。また、基板の屈折率  $n_{base}$  は 1.48、金属格子間の誘電体格子の平均屈折率  $n_b$  は 1.48 であり、式(1) ~ (4) の条件を全て満足している。この結果、高い  $T_x$  と低い  $R_y$  を両立している。

#### 【0049】

50

比較例 1 ~ 4 として、式(1) ~ (4)の条件のうち少なくとも 1 つを満足しない例の構成を表 3 に示し、比較例 1, 2a, 2b, 3a, 3b, 4 の x 偏光に対する透過率  $T_x$  、 y 偏光に対する反射率  $R_y$  および消光比  $T_x / T_y$  を表 4 に示す。また、実施例 1 および比較例 1 ~ 4 の偏光板としての性能の優劣を表 5 に (優) , (やや劣) , × (劣) で示す。表 3 ~ 5 から、上記 4 つの条件のうちいずれか 1 つを満たさない場合には、十分な y 偏光に対する反射率  $R_y$  と消光比の両立が難しいことが分かる。十分な y 偏光に対する反射率  $R_y$  と消光比とを両立しているのは実施例 1 の構成のみであり、このことから低反射率と高消光比とを両立させるためには式(1) ~ (4) に示す条件を全て満足する必要があることが分かる。

## 【0050】

10

図 9 (a), (b) にはそれぞれ、実施例 1 の偏光板の波長 400 nm から 700 nm までの分光透過率および分光反射率を示す。これらの図から分かるように、実施例 1 の偏光板は、x 偏光に対する透過率として可視光全域でおよそ 80% 以上を確保しながら、y 偏光に対する反射率を 1% 程度に抑えている。

## 【実施例 2】

## 【0051】

実施例 2 の偏光板の基本構成は、図 1 に示した構成と同じである。本実施例の偏光板は、金属格子の材料として Mo を用いている。本実施例の偏光板の各パラメータをまとめて表 1 に示す。

## 【0052】

20

本実施例の偏光板では、基板面上に格子周期 100 nm 、格子幅 10 nm 、格子高さ(全高) 300 nm の矩形金属格子が 1 層形成されている。金属格子の屈折率  $n_m$  は 3.78 、消衰係数  $k_m$  は 3.52 であり、FF は 0.1 である。また、基板の屈折率  $n_{base}$  は 2.0 、格子上部の誘電体媒質の屈折率  $n_{top}$  は 2.30 、金属格子間の誘電体格子の平均屈折率  $n_b$  は 2.155 であり、式(1) ~ (4) の条件を全て満足している。本実施例の偏光板は、実施例 1 に比べて高屈折率の基板を用いているとともに、高屈折率の誘電体媒質で 1 次元格子部を被覆している。

## 【0053】

また、波長 550 nm における x 偏光に対する透過率  $T_x$  、 y 偏光に対する反射率  $R_y$  および消光比  $T_x / T_y$  を表 2 に示す。この表から分かるように、本実施例の偏光板は、高い  $T_x$  と低い  $R_y$  を両立している。本実施例の偏光板は、実施例 1 に比べて格子高さは低いが、十分な消光比を有する低反射型の偏光板として機能する。

30

## 【実施例 3】

## 【0054】

実施例 3 の偏光板の基本構成は、図 1 に示した構成と同じである。本実施例の偏光板は、金属格子の材料として Ti を用いている。本実施例の偏光板の各パラメータをまとめて表 1 に示す。

## 【0055】

40

本実施例の偏光板では、基板面上に格子周期 100 nm 、格子幅 15 nm 、格子高さ(全高) 400 nm の矩形金属格子が 1 層形成されている。金属格子の屈折率  $n_m$  は 1.88 、消衰係数  $k_m$  は 2.61 であり、FF は 0.15 である。また、基板の屈折率  $n_{base}$  、金属格子間の誘電体格子の平均屈折率  $n_b$  ならびに 1 次元格子部の上部を被覆する誘電体媒質の屈折率  $n_{top}$  はともに 1.48 であり、式(1) ~ (4) の条件を全て満足している。この結果、高い  $T_x$  と低い  $R_y$  を両立している。

## 【0056】

また、波長 550 nm における x 偏光に対する透過率  $T_x$  、 y 偏光に対する反射率  $R_y$  および消光比  $T_x / T_y$  を表 2 に示す。この表から分かるように、本実施例の偏光板は、高い  $T_x$  と低い  $R_y$  を両立している。本実施例の偏光板は、実施例 1 に比べて格子高さは低いが、高い消光比を有する低反射型の偏光板として機能する。

## 【実施例 4】

50

## 【0057】

実施例4の偏光板の基本構成は、図6に示した構成と同じである。本実施例の偏光板は、金属格子の材料としてタンゲステンを用いている。本実施例の偏光板の各パラメータをまとめて表1に示す。

## 【0058】

本実施例の偏光板では、基板面上に格子周期100nm、格子高さ(全高)1000nmの三角格子が形成され、その上にタンゲステンの層が35nm幅(厚)で形成され、さらにその上に屈折率1.48のSiO<sub>2</sub>で被覆された構造を有する。金属格子のFFは0.04であり、式(2)の条件を満足する。また、金属格子の屈折率n<sub>m</sub>は2.73、消衰係数k<sub>m</sub>は3.51であり、FFは0.04である。また、基板の屈折率n<sub>base</sub>、金属格子間の誘電体格子の平均屈折率n<sub>b</sub>ならびに1次元格子部の上部を被覆する誘電体媒質の屈折率n<sub>top</sub>はいずれも1.48であり、式(1),(3),(4)の条件も満足している。

10

## 【0059】

また、波長550nmにおけるx偏光透過率T<sub>x</sub>、y偏光反射率R<sub>y</sub>、消光比T<sub>x</sub>/T<sub>y</sub>の値を表2に示す。この表から分かるように、本実施例の偏光板は、高いT<sub>x</sub>と低いR<sub>y</sub>を両立している。

## 【0060】

図10(a),(b)には、本実施例の偏光板の波長400nmから700nmまでの分光透過率および分光反射率を示す。これらの図から分かるように、実施例4の偏光板は、x偏光に対する透過率として可視光全域でおよそ90%以上を確保しながら、y偏光の反射率を1%程度に抑えている。

20

## 【実施例5】

## 【0061】

実施例5の偏光板の基本構成は、図6に示した構成と同じである。本実施例の偏光板は、金属格子の材料としてCrを用いている。本実施例の偏光板の各パラメータをまとめて表1に示す。

## 【0062】

本実施例の偏光板では、基板面上に格子周期100nm、格子高さ(全高)180nmの三角格子が形成され、その上にCr膜が5nm幅(厚)で形成され、さらにその上に屈折率が1.48のSiO<sub>2</sub>で被覆された構造が6層積層されている。金属格子間のSiO<sub>2</sub>膜の厚みは150nmである。金属格子のFFは0.054であり、式(2)の条件を満足する。金属格子の屈折率n<sub>m</sub>は4.12、消衰係数k<sub>m</sub>は5.42である。また、基板の屈折率n<sub>base</sub>、金属格子間の誘電体格子の平均屈折率n<sub>b</sub>ならびに1次元格子部の上部を被覆する誘電体媒質の屈折率n<sub>top</sub>はともに1.48である。さらに、1次元格子部の厚みの総和hは1080nmであり、式(1),(3),(4)の条件も満足している。なお、式(5),(6)の計算は1次元格子部のみで行っており、誘電体中間層の部分は式(5),(6)の計算に含まれていない。

30

## 【0063】

波長550nmにおけるx偏光に対する透過率T<sub>x</sub>、y偏光に対する反射率R<sub>y</sub>および消光比T<sub>x</sub>/T<sub>y</sub>を表2に示す。この表から分かるように、実施例5の偏光板は高いT<sub>x</sub>と低いR<sub>y</sub>を両立している。

40

## 【0064】

図11(a),(b)には、本実施例の偏光板の波長400nmから700nmまでの分光透過率および分光反射率を示す。これらの図から分かるように、実施例5の偏光板は、x偏光に対する透過率として可視光全域でおよそ90%以上を確保しながら、y偏光の反射率を1%程度に抑えている。

## 【実施例6】

## 【0065】

次に、本発明の実施例6として、上記実施例で説明した偏光板のいずれかを用いた光学

50

機器としての画像投射装置について説明する。図12には、画像投射装置400の構成を示す。

【0066】

光源21から射出した照明光束22は、照明光学系23および偏光変換素子24を通過することにより所定の偏光方向を有する直線偏光に変換される。その後、照明光束22は、ダイクロイックミラー26により緑色照明光27gおよび青色照明光27bと、赤色照明光27rとに分離される。緑色照明光27gは、偏光分離素子30aおよび位相差板31gを透過した後に液晶パネルやデジタルマイクロミラーデバイス等の画像表示素子32gに到達し、画像光として反射される。青色および赤色照明光27b, 27rは、偏光板28を透過した後に色選択性位相差板29を透過し、ここで青色照明光27bの偏光方向のみが90度回転されて偏光分離素子30bに入射する。偏光分離素子30bでは、青色照明光27bが反射し、赤色照明光27rは透過する。その後、青色照明光27bおよび赤色照明光27rはそれぞれ、位相差板31b, 31rを透過して画像表示素子32b, 32rにより画像光として反射される。画像光33gは、偏光分離素子30aで反射した後に偏光板35gを透過して合成プリズム36に入射する。画像光33b, 33rは偏光分離素子30bにより合成された後に再度、色選択性位相差板34を透過することで所定の偏光方向を有する直線偏光に変換され、その後に偏光板35rbを透過して合成プリズム36に入射する。合成プリズム36によって合成された画像光33g, 33b, 33rは、投射レンズ37によりスクリーン等の被投射面に投射される。

10

【0067】

本実施例の画像投射装置400では、偏光板28, 35g, 35等の偏光板として上記各実施例にて説明した低反射型の偏光板が使用される。特に画像表示素子により画像光に変換された後の光路に配置されている偏光板35gや偏光板35として各実施例にて説明した偏光板が用いられることが望ましい。このような位置に反射型の偏光板を配置すると、プリズム面や投射レンズ面と対向する面での多重反射によるゴーストやフレアの原因となり、投射画像に悪影響を及ぼしやすい。このため、このような位置に低反射型の偏光板を配置することで、不要な偏光光をカットしながらも反射を抑え、ゴーストの少ない高品位な画像を投射可能な画像投射装置を実現することができる。

20

【0068】

図12に示した画像投射装置では反射型の画像表示素子を用いたが、図13に示すように透過型の画像表示素子を用いた画像投射装置500にも、上記各実施例で説明した偏光板を用いることもできる。画像投射装置500の詳しい説明は省略するが、透過型の画像表示素子41g, 41b, 41rを用いる場合、その入出射面の両側に偏光板40g, 40b, 40rおよび偏光板42g, 42b, 42rを配置する必要がある。このような位置に上記各実施例の偏光板を用いることで、図12に示した画像投射装置と同様の効果が得られる。

30

【0069】

さらに、上記各実施例で説明した偏光板は、画像投射装置以外の光学機器であって偏光光を利用するもの（例えば、光ディスクに対して情報の書き込みおよび読み出しを行うピックアップ装置）に広く用いることもできる。

40

【0070】

【表1】

	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5
格子形状	矩形	矩形	矩形	三角	三角
積層数	単層	単層	単層	単層	6層
h[nm]	1000	300	400	1000	$181 \times 6 = 1080$
d[nm]	-	-	-	-	150nm
FF	0.06	0.1	0.15	0.04	0.054
$n_m$	2.0	3.78	1.88	3.51	4.12
$k_m$	3.0	3.52	2.61	2.73	5.42
$n_{base}$	1.48	2	1.48	1.48	1.48
$n_b$	1.48	2.155	1.48	1.48	1.48
$n_{top}$	1.48	2.3	1.48	1.48	1.48

10

【0071】

【表2】

	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5
$T_x$	84%	88%	76%	93%	95%
$R_y$	1.07%	2.74%	4.34%	0.81%	0.55%
$T_x/T_y$	362	85	125	150	804

20

【0072】

【表3】

	実施例1	比較例1	比較例2a	比較例2b	比較例3a	比較例3b	比較例4
h[nm]	1000	200	1000	1000	1000	1000	750
FF	0.06	0.3	0.06	0.15	0.15	0.4	0.06
$n_m$	2.0	2.0	0.5	0.5	2.0	2.0	2.0
$k_m$	3.0	3.0	3.0	3.0	0.5	0.5	0.5
$n_{base}$	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
$n_b$	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1

30

【0073】

【表4】

	実施例1	比較例1	比較例2a	比較例2b	比較例3a	比較例3b	比較例4
$T_x$	84%	74%	92%	77%	50%	9%	92%
$R_y$	1.07%	18.32%	1.19%	10.48%	0.19%	1.00%	8.69%
$T_x/T_y$	362	250	6	554	5	22	904

40

【0074】

【表5】

	実施例1	比較例1	比較例2a	比較例2b	比較例3a	比較例3b	比較例4
$T_x$	○	△	○	△	△	×	○
$R_y$	○	×	○	×	○	○	×
$T_x/T_y$	○	○	×	○	×	×	○

【0075】

以上説明した各実施例は代表的な例にすぎず、本発明の実施に際しては、各実施例に対して種々の変形や変更が可能である。

【産業上の利用可能性】

50

## 【0076】

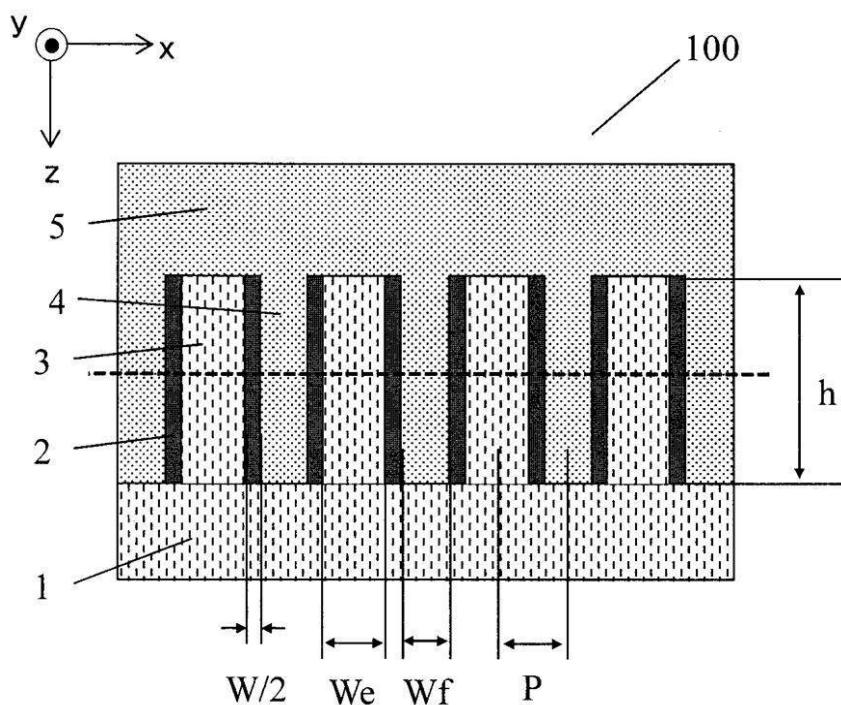
画像投射装置等の光学機器に使用される高性能の偏光板を提供することができる。

## 【符号の説明】

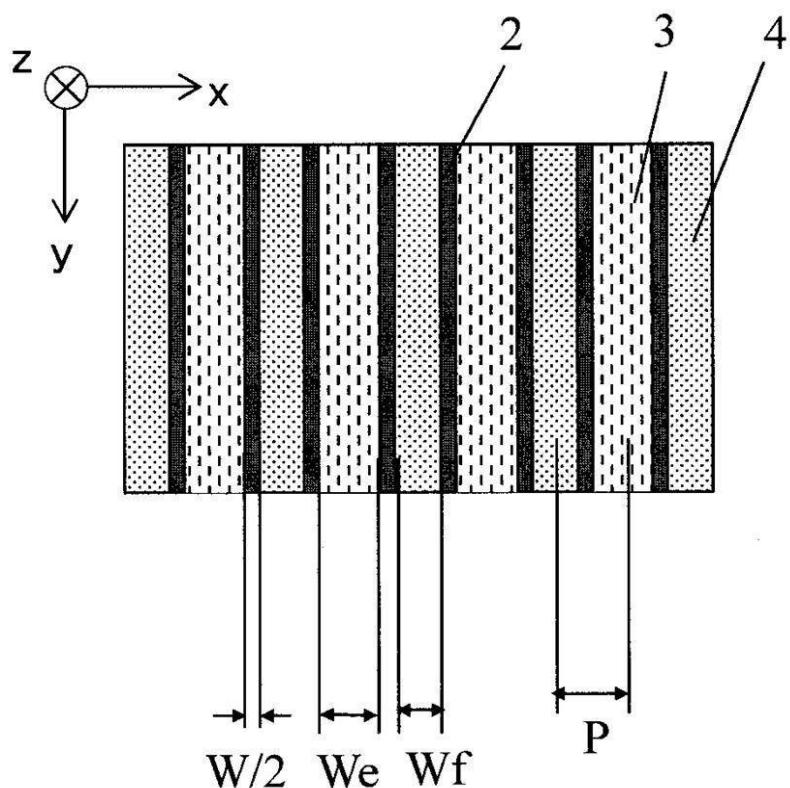
## 【0077】

- 1 基板
- 2 金属格子
- 3, 4 誘電体格子（誘電体媒質）

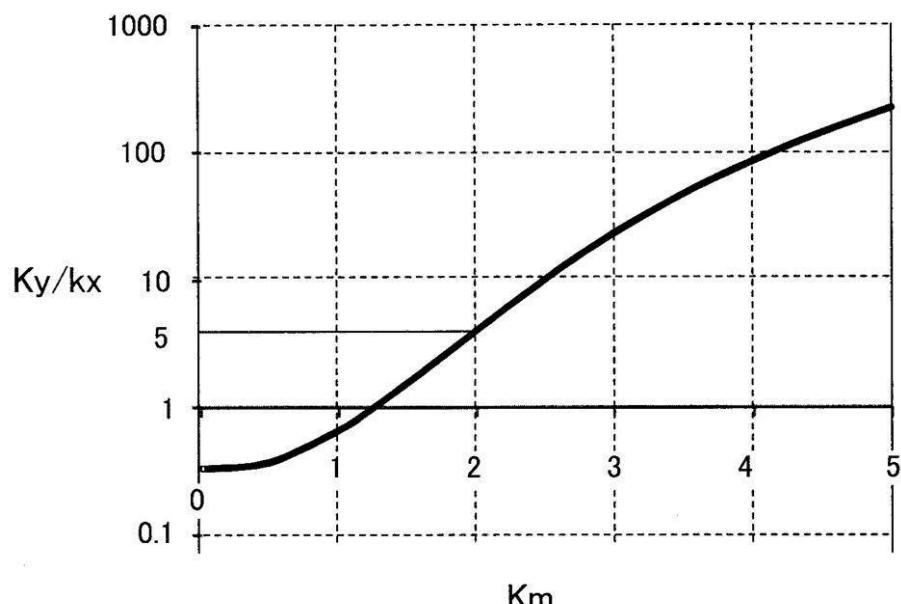
## 【図1】



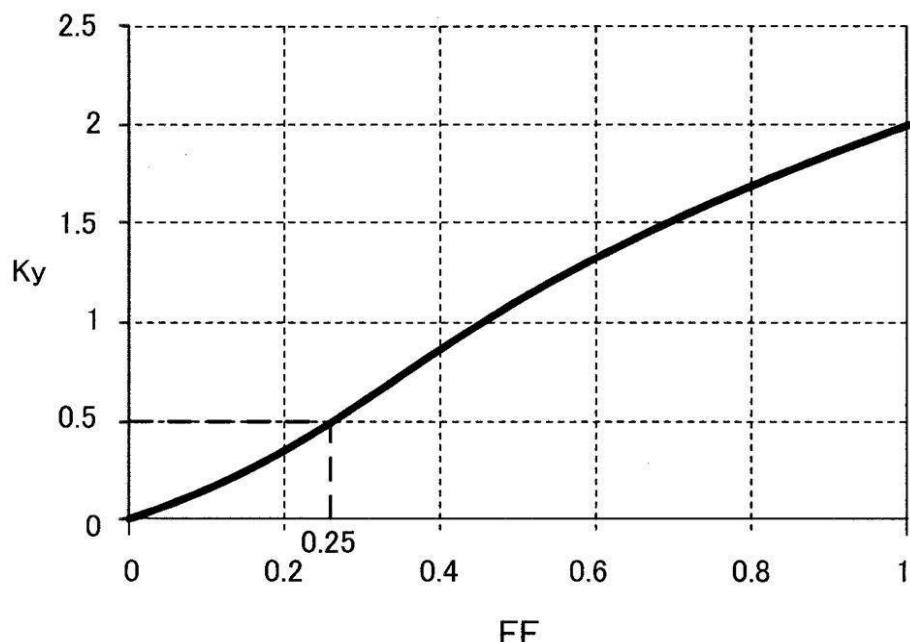
【図2】



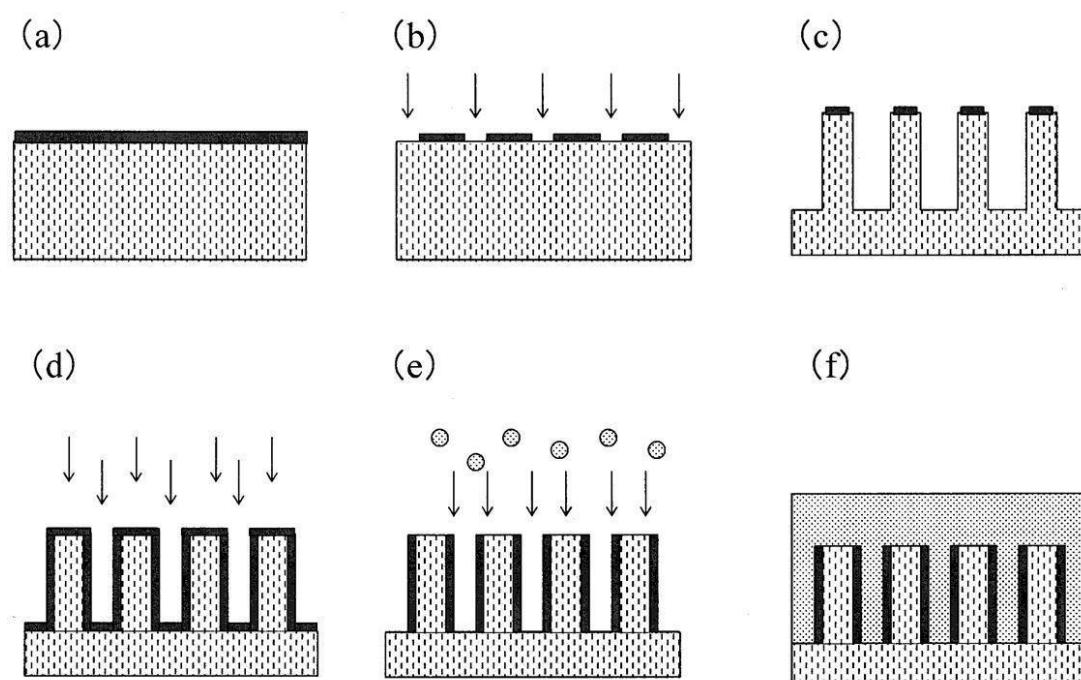
【図3】



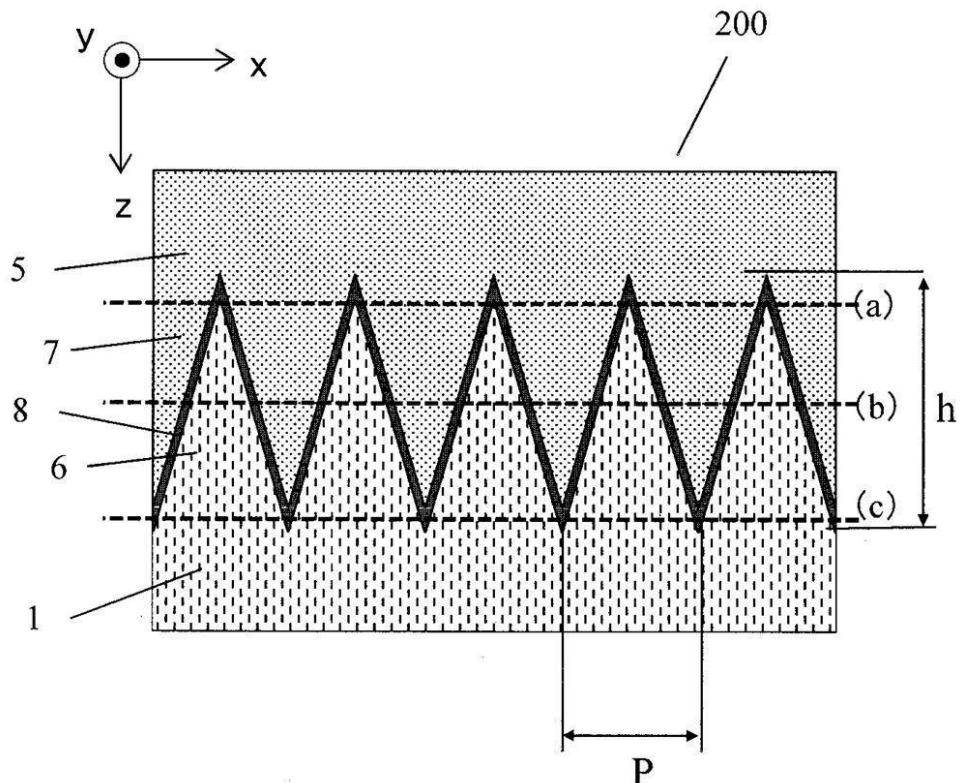
【図4】



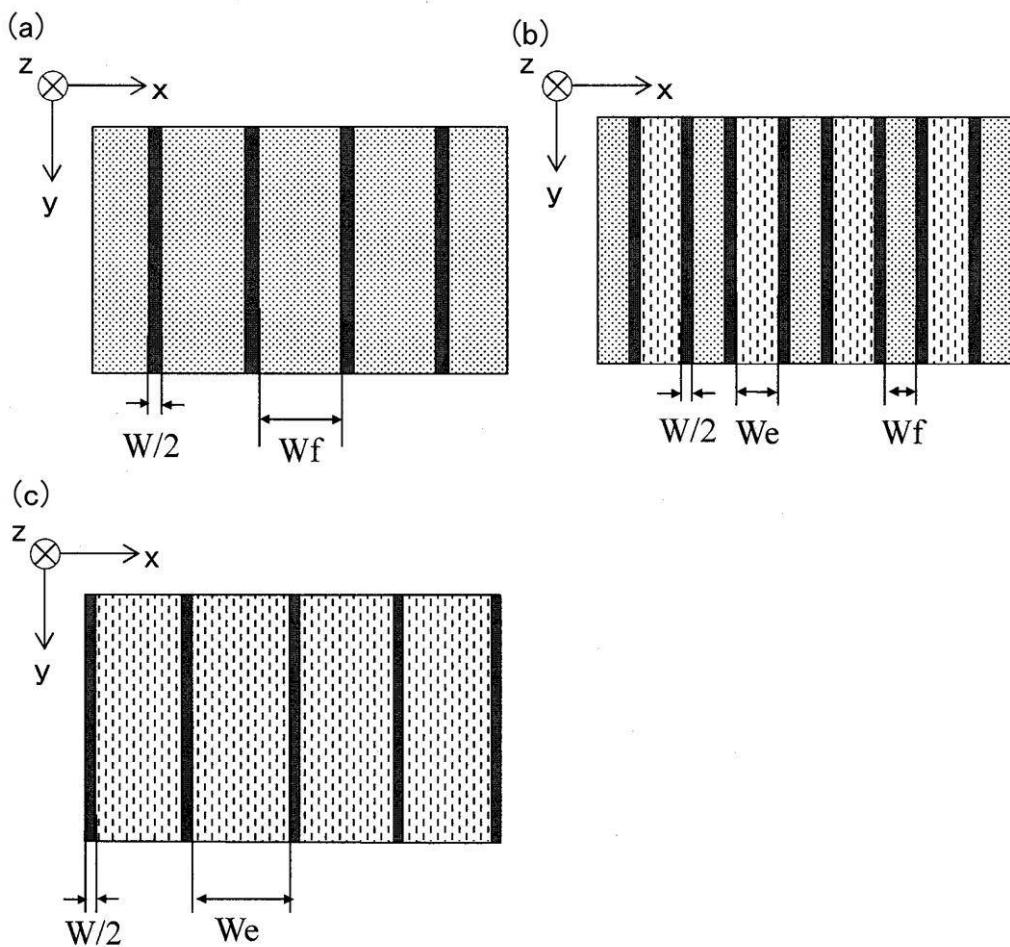
【図5】



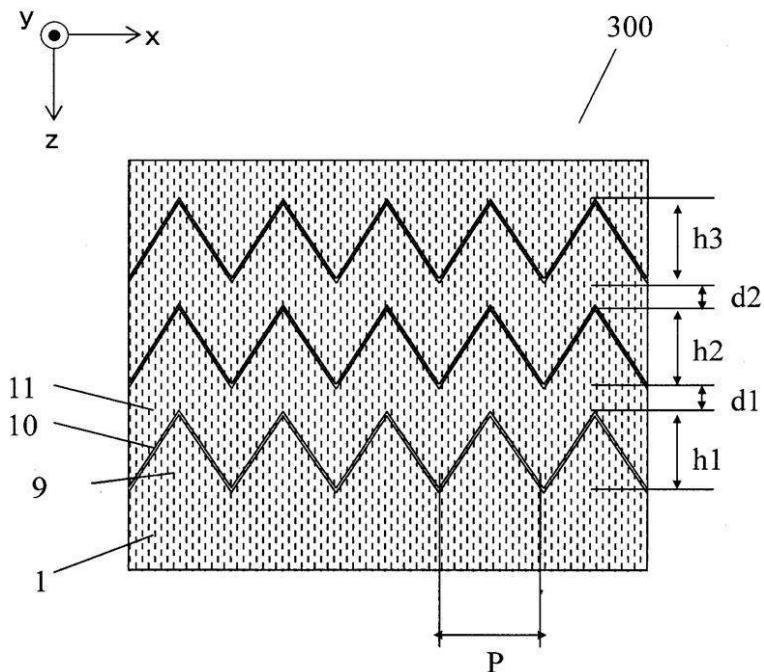
【図6】



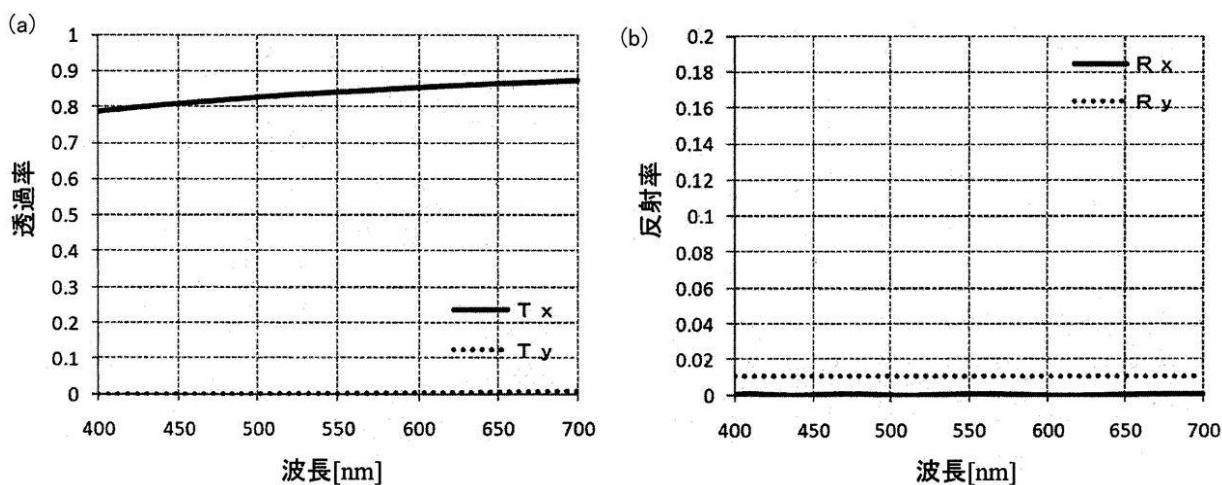
【図7】



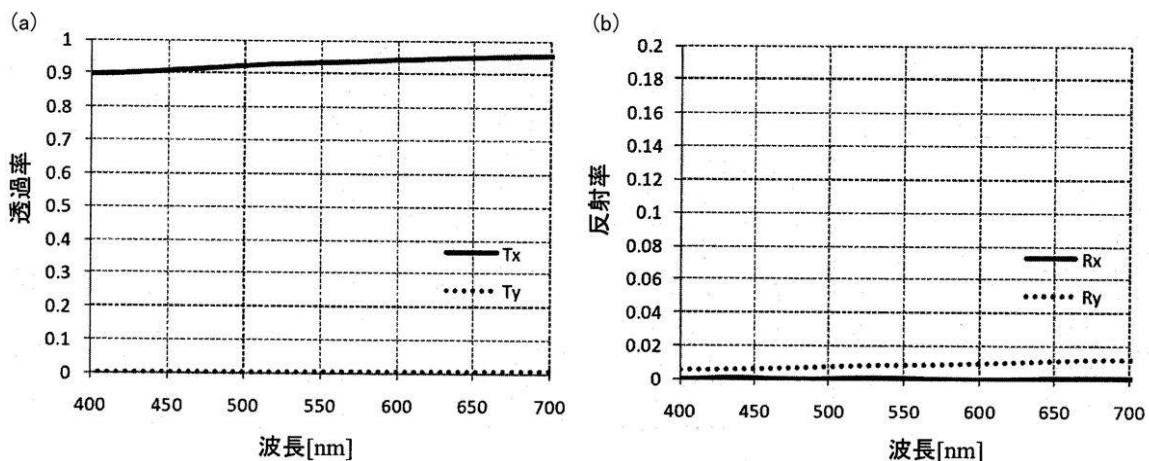
【図8】



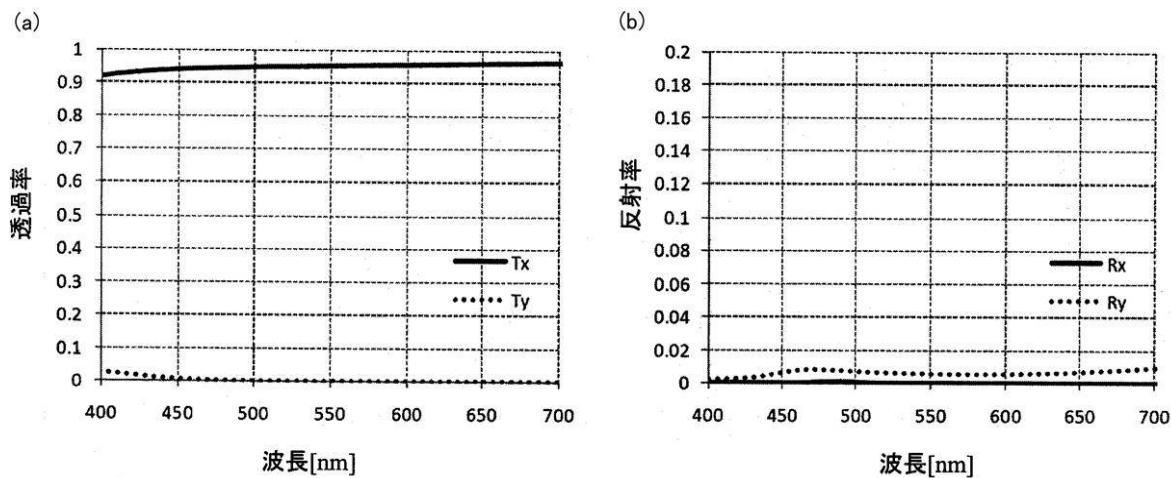
【図9】



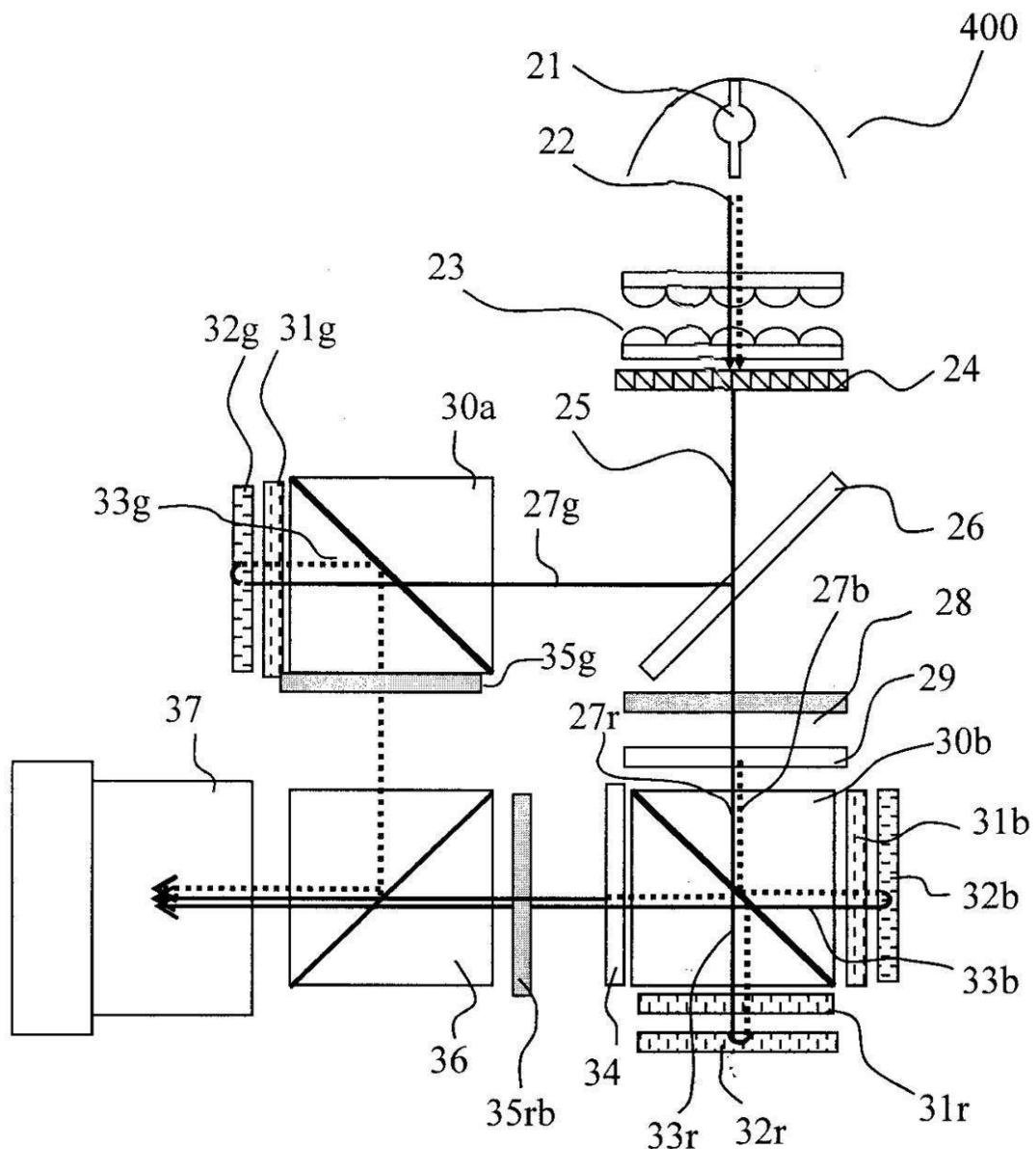
【図10】



【図 1 1】



【図 1 2】



【図13】

