

(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2015-57660

(P2015-57660A)

(43) 公開日 平成27年3月26日(2015.3.26)

(51) Int.Cl.
G02B 5/30 (2006.01)

F1
G02B 5/30

テーマコード(参考)
2H149

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2014-225191 (P2014-225191)
 (22) 出願日 平成26年11月5日 (2014.11.5)
 (62) 分割の表示 特願2010-245547 (P2010-245547)
 の分割
 原出願日 平成22年11月1日 (2010.11.1)

(71) 出願人 599045936
 株式会社光学技研
 神奈川県厚木市温水135番地
 (74) 代理人 100088580
 弁理士 秋山 敦
 (74) 代理人 100111109
 弁理士 城田 百合子
 (72) 発明者 戸田 伸一郎
 神奈川県厚木市温水135番地 株式会社
 光学技研内
 Fターム(参考) 2H149 AA24 AB01 AB13 AB14 AB26
 DA02 DA32 DB38 FA43Y FD03
 FD47

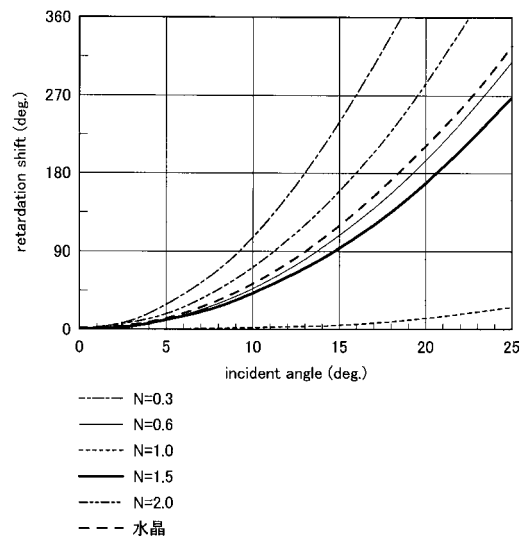
(54) 【発明の名称】 位相子

(57) 【要約】

【課題】位相差変化量の入射角依存性が低く、且つ高い耐熱性及び耐光性を備えた位相子を提供する。

【解決手段】位相子は、結晶において、互いに直交する方向をそれぞれx方向、y方向、z方向とし、x方向の屈折率をnx、y方向の屈折率をny、z方向の屈折率をnzとし、 $nz > ny > nx$ を満たすと共に前記y方向が前記入射光の垂直入射方向に沿うように前記x方向、前記y方向、前記z方向を定めたときに、 $0.6 < (ny - nx) / (nz - ny) < 1.5$ を満たす二軸性結晶から構成され、二軸性結晶は、無機物からなることを特徴とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射光を透過させ、該入射光に対して平行に出射される出射光の位相を制御する位相子であって、

次数を示す整数を m 、位相子の厚さを d 、波長を λ 、屈折率差を Δn としたときにおける前記位相子の位相差 δ が、

【数 1】

$$\delta + (360 \times m) = 360 \times \Delta n \times d / \lambda \text{ (}^\circ\text{)} \dots \text{(式1)}$$

10

で表され、

結晶において、互いに直交する方向をそれぞれ x 方向、 y 方向、 z 方向とし、前記 x 方向の屈折率を n_x 、前記 y 方向の屈折率を n_y 、前記 z 方向の屈折率を n_z とし、

$n_z > n_y > n_x$ を満たすと共に前記 y 方向が前記入射光の垂直入射方向に沿うように前記 x 方向、前記 y 方向、前記 z 方向を定めるときに、

$$0.6 < (n_y - n_x) / (n_z - n_y) < 1.5$$

を満たす二軸性結晶から構成され、該二軸性結晶は、無機物からなることを特徴とする位相子。

【請求項 2】

前記二軸性結晶は、 Mg_2SiO_4 単結晶であることを特徴とする請求項 1 に記載の位相子。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、位相子に係り、特にレーザー光や紫外領域の光等に対しても、好適に使用することができる位相子に関する。

【背景技術】

【0002】

光の位相差制御技術の中でも、特に偏光状態の制御技術において、有機物フィルムからなる位相フィルムが知られている。位相フィルムは、有機物フィルムを引き延ばす事により発生する異方性を利用したものである。しかし、位相フィルムは安価であるが、異方性結晶からなる位相子と比較して耐熱性、耐光性などの信頼性の点で劣り、その用途が限定されるという問題点がある。

30

【0003】

したがって、高い信頼性を必要とする光通信分野やレーザー強度の高いレーザー加工分野、ステッパーなどに代表される紫外光を光源とする光学機器には、異方性結晶を用いた位相子が用いられている。また、波長 $\lambda = 405 \text{ nm}$ の光を用いる光記録においても、書き込み速度の高い高出力品には、異方性結晶からなる位相子を用いるのが一般的である。

【0004】

ここで、位相子の特性を示す要素である位相差 δ は以下の式 1 で表される。

40

【0005】

【数 1】

$$\delta + (360 \times m) = 360 \times \Delta n \times d / \lambda \text{ (}^\circ\text{)} \dots \text{(式1)}$$

【0006】

上記式 1 において、 m は整数であり、次数を示す。例えば、 $m = 0$ の場合を 0 次とする。 d は位相子の厚さ、 λ は波長、 Δn は屈折率差（一軸性結晶の場合、 $n_o - n_e$ ）である。

【0007】

50

n は位相子の材料である異方性結晶の物性で決まる値であって、代表的な材料である水晶の場合、 $n = 0.01$ 程度である。そして、式 1 より、位相差 90° の位相子を作製する場合、波長が短くなるに従い板厚を薄くする必要がある。

上記式 1 に $n = 0.01$ を代入すると、波長 $= 405 \text{ nm}$ であって 0 次の波長板としたいとき、水晶を用いた位相差 90° の位相子を作製する場合の板厚 d は、約 $10 \mu\text{m}$ になる。

【0008】

したがって、水晶によって位相子を形成した場合には、所望の位相差によっては、板厚が $10 \mu\text{m}$ 程度となることがある。その結果、非常に薄い位相子となり、その取り扱いが難しくなるため、板厚を厚くすることのできる高次の波長板とする方法がある。一枚の板で構成される高次位相子は、素材が少なくよく、接合部がないため信頼性が高いなどの利点がある。

10

【0009】

そして、上記以外の構成としては、同一材料であって板厚の異なる異方性結晶を、それぞれの光学軸が直交するように貼り合わせる構成（すなわち、ダブルプレート）とするのが一般的である。0 次ダブルプレート構造の波長板の場合、一方と他方の板厚差は約 $10 \mu\text{m}$ となるようにするが、一般的に、それぞれの板厚は、加工性や取り扱い性を考慮して、板厚の合計が約 $0.3 \sim 1 \text{ mm}$ 程度に設計されている。

【0010】

一方、高次ダブルプレート構造の位相子は位相差の波長依存性が大きく、広い波長領域で使用したい場合には、特性を満たすことができないという不都合がある。

20

また、前記した式 1 では、考慮されていないが、位相差は位相子への光の入射角によっても変化し、一般的な位相子では、板厚の絶対厚に比例する。そして、ダブルプレート構造であっても、入射角依存性を補償することはない。

【0011】

例えば、ダブルプレート構造の水晶製位相子において、波長 $= 405 \text{ nm}$ の光に対して板厚が 0.3 mm の場合、入射角が 10° であるときは位相差が約 17° 変化する。また、板厚が 1.0 mm の場合、入射角が 10° であるとき、約 55° 変化する。

【0012】

したがって、位相子に対して入射光が垂直に入射する場合、すなわち、垂直入射で使用する場合、ダブルプレート構造を採用することができるが、斜入射で使用する場合、または、集光光、発散光で使用する場合には、ダブルプレート構造の位相子は適していない。したがって、入射角依存性がある位相子を集光光、発散光で使用するためには、光線を平行にするために位相子の前後にレンズを配設し、光の入射角を垂直にする必要がある。その結果、装置が大型化するという問題点があった。

30

【0013】

これに対し、異常光屈折率 n_e と常光屈折率 n_o が、 $n_e > n_o$ である材料と、 $n_e < n_o$ である材料を組み合わせた構成の位相子が提案されている。例えば、特許文献 1 には、上記関係を満たす第 1 の複屈折結晶及び第 2 の複屈折結晶を組み合わせた結晶性の位相子が開示されている。

40

【0014】

また、結晶性位相子以外にも、薄膜状の位相フィルムが提案されている（例えば、非特許文献 1 乃至 3）。

非特許文献 1 乃至 3 に記載された位相フィルムは、特に液晶パネルの高視野化のために用いられるものであり、二軸性材料の屈折率を $n_z > n_y > n_x$ とするとき、以下の式 2 を満たすように設計されている。

【0015】

【数 2】

$$(n_y - n_x) / (n_z - n_y) = 1 \dots (式 2)$$

【0016】

上記式 2 の関係を満たす物性を備えた材料で構成された位相子は、位相差の入射角依存性が小さくなる。また、上記の結晶性位相子と異なり、二種類の材料を用いる必要がなく、構成が簡単である。したがって、ダブルプレート構造、単板構造のいずれにおいても使用することが可能である。

【先行技術文献】

10

【特許文献】

【0017】

【特許文献 1】特開 2002 - 139703 号公報

【非特許文献】

【0018】

【非特許文献 1】KONICA MINOLTA Tech. Rep., Vol 3. 1 33 頁 ~ 136 頁 (2006) .

【非特許文献 2】KONICA MINOLTA Tech. Rep., Vol 5. 1 07 頁 ~ 110 頁 (2008) .

【非特許文献 3】東ソー研究・技術報告 第 48 巻 (2004) 23 頁 ~ 29 頁 .

20

【非特許文献 4】Elements of Optical Mineralogy Vol. 2, A. N. Winchell, JOHN WILEY & SONS, INC. (1951) .

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0019】

特許文献 1 に記載された結晶性位相子は、組み合わせる材料の平均的な屈折率が一致している場合、位相差の入射角依存性を低減することが可能である。しかし、結晶を用いた構成の場合、平均屈折率 n がほぼ同一で、常光屈折率 n_o と異常光屈折率 n_e の大小のみが異なる材料を選ぶ必要があり、二種類の素材を用いるため高価になるという問題点がある。また、一般的なダブルプレート位相子では補償される位相差の入射角依存性が必ずしも補償されないという問題点がある。

30

【0020】

非特許文献 1 乃至 3 に記載された位相フィルムは、主として有機物によって構成されている。そして、有機物からなる高 NA 位相子は、主として液晶パネルの高視野化のために用いられるのが一般的である。しかし、有機物は耐熱性や耐光性が低いため、高出力レーザーを使う場合、紫外光光源を用いる場合などにおいて、安定して使用することが難しく、信頼性を欠くという問題点がある。

【0021】

本発明の目的は、入射角依存性が低く、且つ高い耐熱性及び耐光性を備えた位相子を提供することにある。また、本発明の他の目的は、簡単な構成で、安価に製造可能な位相子を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0022】

前記課題は、入射光を透過させ、該入射光に対して平行に出射される出射光の位相を制御する位相子であって、次数を示す整数を m 、位相子の厚さを d 、波長を λ 、屈折率差を n としたときにおける前記位相子の位相差 ϕ が、

【0023】

【数 1】

$$\delta + (360 \times m) = 360 \times \Delta n \times d / \lambda (^{\circ}) \dots (式 1)$$

【0024】

で表され、結晶において、互いに直交する方向をそれぞれ x 方向、y 方向、z 方向とし、前記 x 方向の屈折率を n_x 、前記 y 方向の屈折率を n_y 、前記 z 方向の屈折率を n_z とし、 $n_z > n_y > n_x$ を満たすと共に前記 y 方向が前記入射光の垂直入射方向に沿うように前記 x 方向、前記 y 方向、前記 z 方向を定めるときに、 $0.6 < (n_y - n_x) / (n_z - n_y) < 1.5$ を満たす二軸性結晶から構成され、該二軸性結晶は、無機物からなること、により解決される。

10

【0025】

このように、位相子の構成材料として、屈折率に基づく上記の式、すなわち $n_z > n_y > n_x$ 及び $0.6 < (n_y - n_x) / (n_z - n_y) < 1.5$ を満足する無機物からなる二軸性結晶を用いて、さらに二軸性結晶における y 方向と入射光の垂直入射方向（二軸性結晶において光が入射する面に対して垂直な方向、位相子の研磨面の法線方向）を略平行に設定することにより、位相子を透過する光の位相差変化量の入射角依存性を低減させることができる。そして、 $(n_y - n_x) / (n_z - n_y)$ の値を 0.6 以上 1.5 以下にすることにより、従来の水晶製位相子よりも位相差変化量の入射角依存性を低減させることができる。その結果、位相子が設置される装置において光路設計時の自由度が向上する。

20

また、位相子の前後に光路を調整するレンズ等を配設する必要がないため、光路を制御する構成、すなわち位相子を含む装置全体が大型化することなく好適である。

また、無機物は有機物と比較してレーザーに対する耐性が高く、また、その耐熱性は $1000 \sim 2000$ 程度であり、非常に高い耐熱性を備えている。したがって、無機材料で構成された位相子は、有機物によって構成された位相フィルムと比較して、耐熱性及び耐光性が飛躍的に向上することから、高出力のレーザー光や紫外領域の光等にも使用可能である。その結果、信頼性が高く、使用用途の広い位相子とすることができる。

さらに、無機物からなる二軸性結晶によって構成される位相子は、結晶を研磨するだけで製造可能である。したがって、位相子の製造時、複数の薄膜を積層させたり、フィルムを延伸させたりする等の複雑な工程を経ることがない。したがって、製造工程も簡素化することが可能である。

30

【0026】

また、上記の位相子において、前記二軸性結晶は、 Mg_2SiO_4 単結晶であると好ましい。

Mg_2SiO_4 単結晶は、 $n_z > n_y > n_x$ 、 $0.6 < (n_y - n_x) / (n_z - n_y) < 1.5$ を満たす二軸性結晶である。そして、融点は 1890 であるため、 Mg_2SiO_4 単結晶によって構成された位相子は、高い耐熱性を備える。さらに、 Mg_2SiO_4 単結晶は、他の無機物の二軸性結晶と比較して、工業的に育成可能であり、結晶成長により良好且つ大型の結晶を得ることができる。したがって、 Mg_2SiO_4 単結晶からなる位相子は、大型化が容易であり、且つ透明であるため、位相子を構成する材料として Mg_2SiO_4 単結晶は特に好適である。

40

【発明の効果】

【0027】

本発明の位相子は、上記構成からなることにより、位相差変化量の入射角依存性を効果的に低減することができる。したがって、集光光や発散光においても用いることができ、光路設計時の自由度が向上する。さらに、本発明の位相子は、無機物の二軸性結晶によって構成されているため、高い耐熱性及び耐光性を備えている。その結果、有機物によって構成される位相フィルムでは対応することができなかったレーザー光や紫外領域の光等に対し、好適に使用することができる。

また、本発明の位相子は、二軸性結晶の単板からなる構成であるから、構成が簡単であ

50

り、安価に製造可能である。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の実施形態又は参考例に係る位相子及び水晶製位相子における入射角と位相差変化量との関係を示すグラフ図である。

【図2】本発明の実施例1に係る位相子の構成を表す説明図である。

【図3】本発明の実施例1の位相子及び水晶製位相子における入射角と位相差変化量との関係を示すグラフ図である。

【図4】参考例1に係る位相子の構成を表す説明図である。

【図5】参考例1の位相子及び水晶製位相子における入射角と位相差変化量との関係を示すグラフ図である。

【図6】実施例2の位相子及び水晶製位相子における入射角と位相差変化量との関係を示すグラフ図である。

【図7】他の参考例に係る位相子の構成を表す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、本発明の一実施形態について、図を参照して説明する。なお、以下に説明する構成等は、本発明を限定するものではなく、本発明の趣旨に沿って各種変更することができることは勿論である。

【0030】

図1乃至図7は本発明又は参考例の位相子及び比較対象となる水晶製位相子に係るもので、図1は本発明の実施形態又は参考例に係る位相子及び水晶製位相子における入射角と位相差変化量との関係を示すグラフ図、図2は本発明の実施例1に係る位相子の構成を表す説明図、図3は本発明の実施例1の位相子及び水晶製位相子における入射角と位相差変化量との関係を示すグラフ図、図4は参考例1に係る位相子の構成を表す説明図、図5は参考例1の位相子及び水晶製位相子における入射角と位相差変化量との関係を示すグラフ図、図6は実施例2の位相子及び水晶製位相子における入射角と位相差変化量との関係を示すグラフ図、図7は他の参考例に係る位相子の構成を表す説明図である。なお、本明細書中、「垂直入射方向」とは、二軸性結晶に対して光が入射する面に対して略垂直な方向を示すものである。

【0031】

一般に、位相子を構成する材料としては一軸性の結晶が用いられている。一軸性の結晶では、互いに直交する方向をx方向、y方向、z方向とすると、x方向の光の屈折率(n_x)とy方向の光の屈折率(n_y)が同じで、z方向の光の屈折率(n_z)が異なっている。位相子に対し、zy平面上で入射する斜入射光線の位相差は、入射角方向(z軸とy軸との間)の屈折率と、x方向の屈折率(n_x)との差に依存する。また、xy平面上で入射する斜入射光線の位相差は、入射角方向(x軸とy軸との間)の屈折率と、z方向の屈折率(n_z)との差に依存する。したがって、一軸性の結晶では、位相差の入射角依存性を低減することはできない。

【0032】

しかし、二軸性の結晶において、互いに直交する方向をx方向、y方向、z方向とすると、 n_x 、 n_y 、 n_z が全て異なるため、条件により、位相差を制御することができる。その結果、入射角依存性を低減させることができる。そして、入射角依存性が低減する条件は、 $n_z > n_y > n_x$ のとき、以下の式3によって表される。

【0033】

【数3】

$$n_x - n_y = n_y - n_z \cdots (式3)$$

【0034】

式 3 は、上記式 1 と等価である。

【0035】

そして、本発明の位相子は、 $n_z > n_y > n_x$ のとき、以下の式 4 で表される N の値が、0.6 以上 1.5 以下である二軸性結晶により構成される。そして、入射光の垂直入射方向は y 方向と略平行となる（略一致する）ように設計される。

【0036】

【数 4】

$$N = (n_y - n_x) / (n_z - n_y) \cdots \text{(式 4)}$$

10

【0037】

本実施形態及び参考例の位相子について、図 1 乃至図 7 を参照して説明する。

上記式 4 を満たす結晶によって構成される位相子と、水晶製位相子における入射角依存性の計算値による比較を図 1 に示す。

【0038】

図 1 は、入射角が 0° から 25° まで変化した場合の位相差変化量、すなわち位相差変化量の入射角依存性を示している。

図 1 より、一般に用いられる水晶製位相子と比較して、上記式 4 に示す N の値が 0.6 以上 1.5 以下である位相子は、入射角の変化量に対する位相差変化量が小さいことが示されている。すなわち、位相子において、 N の値が 0.6 以上 1.5 以下の時、一般に用いられる水晶製位相子よりも入射角依存性が小さく、好適である。また、 N の値が 1.0 である場合は、位相差変化量の入射角依存性が極めて小さく、特に好適である。

20

【0039】

一方、 N の値が 0.6 未満の時（具体的には、 N の値が 0.3 の時）、及び N の値が 1.5 よりも大きい場合（具体的には N の値が 2.0 の時）は、図 1 に示すように、水晶と比較して位相差変化量の入射角依存性が大きくなるため不相当である。このように、 N の値は極めて小さい値や極めて大きい値、より詳細には 0.6 よりも小さい値や 1.5 よりも大きい値であると、不相当であり、0.6 以上、1.5 以下であると水晶よりも入射角依存性が低減するため、好ましいことが図 1 より示された。

【0040】

そして、 N の値が上記範囲であり、無機物からなる二軸性結晶性材料としては、 Al_2SiO_5 （アンダルサイト、 $N = 0.8$ ）、 Al_2SiO_5 （カイヤナイト、 $N = 1.14$ ）、 $BaAl_2Si_2O_8$ （ $N = 0.86$ ）、 $BaBe_2Si_2O_7$ （ $N = 1$ ）、 BaY_2F_8 （ $N = 0.74$ ）、 Be_2BO_3F （ $N = 0.80$ ）、 $Ca(IO_3)_2$ （ $N = 1$ ）、 $Ca_5Al_6O_{14}$ （ $N = 0.67$ ）、 $CaAlBO_4$ （ $N = 0.93$ ）、 $CaB_2Si_2O_8$ （ $N = 1.5$ ）、 CaB_3O_5F （ $N = 1.41$ ）、 $CaMgAsO_4F$ （ $N = 1.33$ ）、 $CaMgSiO_4$ （ $N = 1.33$ ）、 $CaSnSiO_5$ （ $N = 1.27$ ）、 $CaZnSiO_4$ （ $N = 0.75$ ）、 CsB_3O_6 （ $N = 1.07$ ）、 $HgCl_2$ （ $N = 1.26$ ）、 HIO_3 （ $N = 0.87$ ）、 $KAlSi_3O_8$ （ $N = 0.67$ ）、 $KLaP_4O_{12}$ （ $N = 1$ ）、 $La_2Be_2O_5$ （ $N = 0.89$ ）、 Li_3PO_4 （ $N = 0.78$ ）、 $LiAlSi_2O_6$ （ $N = 1$ ）、 $LiAlSi_4O_{10}$ （ $N = 1$ ）、 $LiVO_3$ （ $N = 0.75$ ）、 $Mg_2B_2O_5$ （ $N = 1.39$ ）、 $Mg_3B_7O_{13}Cl$ （ $N = 0.67$ ）、 $Mg_4Al_8Si_2O_{20}$ （ $N = 1$ ）、 Mg_2SiO_4 （フォルステライト、 $N = 0.84$ ）、 $MgMoO_4$ （ $N = 1$ ）、 Na_2MgAlF_7 （ $N = 1$ ）、 $NaAl(PO_4)F$ （ $N = 0.82$ ）、 $NaSr_3Al_3F_{16}$ （ $N = 1.33$ ）、 PbO （ $N = 1$ ）、 $PbSeO_4$ （ $N = 1$ ）、 $RbNbB_2O_6$ （ $N = 0.83$ ）、 TeO_2 （ $N = 1.06$ ）、 $Y_2MgBe_2Si_2O_{10}$ （ $N = 1$ ）、 $Y_2Si_2O_7$ （ $N = 1.17$ ）等が挙げられる。

30

40

【0041】

そして、位相子として安定して機能するためには、潮解性、劈開等の性質を備えていな

50

い材料によって構成されていると好ましい。潮解性や劈開等の性質を備えた結晶を位相子として使用すると、使用環境によっては結晶が崩壊したり、割れたりするため、安定して保持されず、信頼性を保持するのが難しい。

【0042】

また、潮解性や劈開等、崩壊しやすい性質を備えていなくても、毒性の高い材料からなる位相子は、その加工時等、作業者の健康に悪影響を及ぼすため好ましくない。一般に、位相子は、主に結晶を研磨することによって加工されるため、その際に生じる粉塵を作業者が吸引してしまう虞がある。したがって、位相子を構成する結晶は、毒性の低い物質を用いるのが好ましい。

【0043】

したがって、上記式4に示されるNの値が0.6以上1.5以下であり、且つ潮解性や劈開等の崩壊しやすい性質を備えず、さらに毒性が極めて低い二軸性結晶材料として、本発明の位相子には、 Al_2SiO_5 （アンダルサイト）、 BaY_2F_8 、 $Ca_5Al_6O_{14}$ 、 $CaAlBO_4$ 、 $CaB_2Si_2O_8$ 、 CaB_3O_5F 、 $CaMgSiO_4$ 、 $CaSnSiO_5$ 、 $CaZnSiO_4$ 、 $KLaP_4O_{12}$ 、 $La_2Be_2O_5$ 、 $MgMoO_4$ 、 $NaAl(PO_4)F$ 、 $Y_2MgBe_2Si_2O_{10}$ 、 $Y_2Si_2O_7$ 、 Mg_2SiO_4 （フォルステライト）を用いるのが好ましい。

【0044】

そしてさらに、上記材料の中でも、Nの値が1に近く、加工及び入手の容易性や、比較的大型化が可能である等の点から、 Mg_2SiO_4 （フォルステライト）を用いるのが特に好ましい。 Mg_2SiO_4 （フォルステライト）は、工業的に育成可能な二軸性結晶であり、大型且つ透明なものを入手することができる。なお、 Mg_2SiO_4 （フォルステライト）は、 $n_x = 1.635$ 、 $n_y = 1.651$ 、 $n_z = 1.670$ であり、 $n_y - n_x = 0.016$ 、 $n_z - n_y = 0.019$ である。なお、上記屈折率の値は非特許文献4（Elements of Optical Mineralogy Vol. 2, A. N. Winchell, JOHN WILEY & SONS, INC. (1951)）から引用した値である。

【0045】

また、 Mg_2SiO_4 の融点は1890であり、これに対し、従来の有機物からなる位相フィルムは約200程度である。したがって、 Mg_2SiO_4 単結晶からなる位相子は、高い耐熱性を備えているため、高い信頼性を有し、安定して機能する。

【0046】

このように、無機物は有機物と比較してレーザーに対する耐性が高く、約100～1000倍のレーザー損傷閾値を備えている。また、無機物の耐熱性は約1000～2000であるため、無機物からなる位相子は、高い耐熱性を備えているため、高い信頼性を備えている。

【0047】

（実施例1：0次単板構造）

実施例1において、位相子100は、図2に示すように、二軸性結晶である Mg_2SiO_4 単結晶10によって構成されており、入射光Iの垂直入射方向（ Mg_2SiO_4 単結晶10における光が入射する面、すなわち研磨面と略垂直な方向）と Mg_2SiO_4 単結晶10におけるy方向が略平行になる（略一致する）ように配設されている。換言すると、 Mg_2SiO_4 単結晶10において入射光Iが入射する位相子100の面（研磨面）の法線と、y方向が略一致するように配設されている。なお、符号I'は出射光を示す。

単板構造の位相子100において、 Mg_2SiO_4 単結晶10による位相子100と、比較対象である水晶製位相子における位相差変化量の入射角依存性（計算値による）を図3に示す。なお、図3には、0次単板構造であり、波長 $\lambda = 405\text{nm}$ で、位相差が 90° （ $\lambda/2$ ）の時、すなわち $\lambda/4$ 板である厚さ $10\mu\text{m}$ の位相子における位相差変化量の入射角依存性を示す。

【0048】

10

20

30

40

50

その結果、水晶製位相子と比較して、 Mg_2SiO_4 単結晶10による位相子100の方が、約10倍も入射角依存性が小さいことが示された。例えば、入射角が 40° の時の位相差変化量は、水晶製位相子が約 8.2° であるのに対し、 Mg_2SiO_4 結晶製位相子は、約 0.8° であった。したがって、単板構造の位相子100において、一般的に用いられる水晶製位相子と比較して、 Mg_2SiO_4 結晶製位相子は、位相差変化量の入射角依存性が極めて小さく、幅広い入射角に対応可能であることが示された。

【0049】

また、このように、 Mg_2SiO_4 単結晶10の単板によって構成された位相子100とすると、構成が簡単であり、材料を組み合わせる必要がないため、比較的安価に製造することができる。

【0050】

(参考例1：0次ダブルプレート構造)

参考例1において、位相子200は、図4に示すように、二軸性結晶である Mg_2SiO_4 単結晶(第1結晶20、第2結晶30)によって構成されており、入射光Iの垂直入射方向と第1結晶20、第2結晶30におけるy方向が略平行になるように配設されている。換言すると、第1結晶20、第2結晶30において入射光Iが入射する位相子200の面(研磨面)の法線と、y方向が略一致するように配設されている。そして、第1結晶20及び第2結晶30は、それぞれの結晶のx方向及びz方向が直交するように構成されている。すなわち、第1結晶20におけるx方向(x軸)と、第2結晶30におけるx方向(x軸)は互いに直交し、第1結晶20におけるz方向(z軸)と、第2結晶30におけるz方向(z軸)は互いに直交する関係になっている。なお、符号I'は出射光を示す。

ダブルプレート構造の位相子において、 Mg_2SiO_4 単結晶である第1結晶20及び第2結晶30による位相子200の各平面上における位相差変化量の入射角依存性(計算値による)と、比較対象である水晶製位相子における位相差変化量の入射角依存性(計算値による)を図5に示す。なお、図5には、0次ダブルプレート構造であり、波長 $=405\text{nm}$ で、位相差が 90° ($\pi/2$)の時、すなわち $\pi/4$ 板である厚さ 1mm の位相子における位相差変化量の入射角依存性を示す。

ダブルプレート構造とは、上記のように、同一材料であって板厚の異なる Mg_2SiO_4 単結晶からなる第1結晶20及び第2結晶30を、入射光Iの進行方向において隣接させ、それぞれの光学軸が直交するように貼り合わせる構成である。このようなダブルプレート構造の位相子200を形成する際、 Mg_2SiO_4 単結晶である第1結晶20及び第2結晶30は、互いにオプティカルコンタクトにより接合されると好ましい。

【0051】

その結果、図5に示すように、水晶製位相子と比較して、 Mg_2SiO_4 単結晶である第1結晶20及び第2結晶30による位相子200の方が、約4倍以上も入射角依存性が小さいことが示された。例えば、入射角が 18° の時の位相差変化量は、水晶製位相子が約 172° であるのに対し、 Mg_2SiO_4 結晶製位相子200は、xy平面上において約 40° 、yz平面上において約 31° であった。したがって、単板構造だけでなく、ダブルプレート構造においても、一般的に用いられる水晶製位相子と比較して、 Mg_2SiO_4 結晶製位相子200は、位相差変化量の入射角依存性が極めて小さく、幅広い入射角に対応可能であることが示された。

【0052】

また、このように、 Mg_2SiO_4 単結晶である第1結晶20及び第2結晶30をオプティカルコンタクト等の手法を用いて貼り合わせた構成の位相子200とすると、板厚の差分に依存して位相差を制御することができる。したがって、単板構造の場合において、その用途により板厚が薄くなりすぎる場合は、ダブルプレート構造とし、適宜扱いやすい厚さに調整可能である。

【0053】

また、水晶製位相子と比較して、 Mg_2SiO_4 単結晶である第1結晶20及び第2結

10

20

30

40

50

晶30による位相子200では、何れの平面上においても、入射角依存性が約3~4倍程度小さいことが示された。例えば、入射角が15°の時の位相差変化量は、水晶製位相子が約122°であるのに対し、 Mg_2SiO_4 結晶製位相子200のxy平面上における位相差変化量は、約27°、yz平面上における位相差変化量は22°であった。したがって、ダブルプレート構造の位相子において、一般的に用いられる水晶製位相子と比較して、 Mg_2SiO_4 結晶製位相子200は、各平面上で位相差の入射角依存性は異なるが、何れの平面上であっても位相差変化量の入射角依存性が極めて小さく、幅広い入射角に対応可能であることが示された。

【0054】

(実施例2：高次単板構造)

実施例2の位相子は、上記実施例1の位相子100と厚さが異なることを特徴としている。厚さ以外の構成について、実施例1の位相子100と同様であるため、構成の詳細な説明は省略する。

第1結晶のみからなる単板構造の位相子において、 Mg_2SiO_4 単結晶による位相子と、比較対象である水晶製位相子における位相差変化量の入射角依存性(計算値及び測定値による)を図6に示す。なお、図6には、高次単板構造であり、波長 = 405 nmで、位相差が3330°(360°×9+90°)の時、すなわち / 4板である厚さ約0.1 mmの Mg_2SiO_4 単結晶からなる位相子における位相差変化量の入射角依存性を示す。また、図6には、高次単板構造であり、波長 = 405 nmで、位相差が810°(360°×2+90°)の時、すなわち / 4板である厚さ約0.1 mmの水晶からなる位相子における位相差変化量の入射角依存性を示す。なお、図6中、点で示される値は測定値、線で示される値は計算値を示している。

【0055】

その結果、計算値と測定値の位相差変化量の入射角依存性はほぼ一致しており、水晶製位相子と比較して、 Mg_2SiO_4 単結晶による位相子の方が、約2.9倍以上、入射角依存性が小さいことが示された。例えば、入射角が40°の時の位相差変化量は、水晶製位相子が約77°(計算値)であるのに対し、 Mg_2SiO_4 結晶製位相子は、約27°(計算値)であった。したがって、計算値だけでなく、測定値においても、一般的に用いられる水晶製位相子と比較して、 Mg_2SiO_4 結晶製位相子は、位相差変化量の入射角依存性が極めて小さく、幅広い入射角に対応可能であることが示された。

【0056】

なお、上記位相差変化量の入射角依存性の測定は、以下のようにして行った。

= 405 nmの光源を用い、上記構成の Mg_2SiO_4 単結晶及び水晶からなる位相子サンプルをそれぞれ回転台の上に設置し、位相子サンプルを回転させることで入射角を変化させながら回転偏光子法で位相差測定を行った。そして、垂直入射の場合を入射角 = 0°、垂直入射における位相差を基準とし、垂直入射から入射角を変化させたときの位相差の変化量を位相差変化量とした。

【0057】

(その他の参考例)

上記参考例1において示した第1結晶20及び第2結晶30からなるダブルプレート構造の位相子200において、位相差は0次でなく、高次としても良い。

また、上記のように、 Mg_2SiO_4 単結晶10の単板からなる構成(単板構造)の位相子100や、 Mg_2SiO_4 単結晶である第1結晶20及び第2結晶30を光学軸が互いに直交するように貼り合わせる構成(ダブルプレート構造)の位相子200以外にも、二枚の Mg_2SiO_4 単結晶である第1結晶40及び第2結晶50を、入射光の進行方向に離間して配設し、空気間隙を隔てて平行に並べた構成(エアギャップ構成)の位相子300とすることができる(図7参照)。

【0058】

エアギャップ構成の位相子300は、入射光Iの垂直入射方向と第1結晶40、第2結晶50におけるy方向が略平行(略同一方向)になるように配設されている。換言すると

10

20

30

40

50

、第1結晶40、第2結晶50において入射光Iが入射する位相子300の面（研磨面）の法線と、y方向が略一致するように配設されている。そして、第1結晶40及び第2結晶50は、それぞれの結晶のx方向及びz方向が直交するように構成されている。すなわち、第1結晶40におけるx方向（x軸）と、第2結晶50におけるx方向（x軸）は互いに直交し、第1結晶40におけるz方向（z軸）と、第2結晶50におけるz方向（z軸）は互いに直交する関係になっている。

【0059】

オプティカルコンタクトによって Mg_2SiO_4 単結晶である第1結晶20及び第2結晶30を接合する構成とは異なり、エアギャップ構成とした位相子は、 Mg_2SiO_4 単結晶である第1結晶40及び第2結晶50同士の接合面がないため、特に高出力レーザー 10
に対しては損傷しにくく、好適である。また、 Mg_2SiO_4 単結晶である第1結晶40及び第2結晶50を設置する際の接着剤等を用いることがないため、位相子300において光が吸収されることなく、特に好適である。

【0060】

なお、上記実施形態及び参考例では Mg_2SiO_4 単結晶の構成（単板構造、ダブルプレート構造等）について説明したが、 Mg_2SiO_4 単結晶の周縁に、位相子100、200、300を装置等の所定位置に保持するためのホルダが取り付けられていても良い。

【0061】

本発明の位相子は、上記のように、 Mg_2SiO_4 単結晶によって形成されている。そして、 Mg_2SiO_4 単結晶は、上記式4で表されるNの値が0.6以上1.5以下であるため、位相差変化量の入射角依存性が小さく、また、有機フィルム等と異なり、耐熱性や耐光性が高いため、信頼性の高い透過型位相子を構成する材料として特に好適である。 20

【0062】

また、 Mg_2SiO_4 単結晶によって形成された位相子は、入射角依存性が低いだけでなく、潮解性や劈開等の性質を備えていないため強度が高く、安定して機能する。さらに、 Mg_2SiO_4 は毒性が極めて低いので、環境に対する影響を低減することができ、安全性の高い位相子を提供することができる。

【0063】

さらにまた、本発明の位相子は、位相子を製造するために複数の薄膜を積層させる等の複雑な構成ではなく、 Mg_2SiO_4 単結晶からなる位相子である。したがって、位相子の製造時、製造工程が煩雑となることなく、その結果、歩留まり良く位相子を製造することができる。 30

【産業上の利用可能性】

【0064】

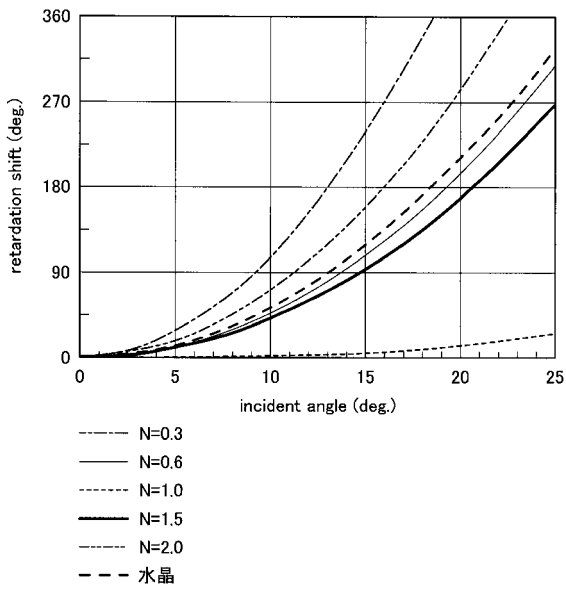
本発明の位相子によれば、従来位相フィルムでは対応できなかった高出力のレーザー光や紫外領域の光等に対しても好適に使用することができる。したがって、本発明の位相子は、光ピックアップ光学系に組み込むことにより、例えば音響映像機器分野において、CDやDVD等の光ディスク媒体の再生・記録装置の小型化が可能になるだけでなく、さらに、光通信分野、測定機器分野等、さまざまな分野において好適に用いられる。さらに、本発明の位相子は、半導体レーザー励起レーザーの励起光に対して用いることにより、励起光の偏光制御を高い信頼性で行うことができる。 40

【符号の説明】

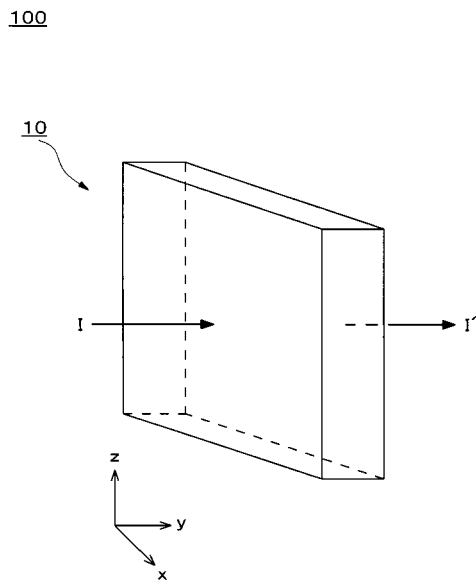
【0065】

100、200、300 位相子
 10、20、40 第1結晶（ Mg_2SiO_4 単結晶）
 30、50 第2結晶（ Mg_2SiO_4 単結晶）
 I 入射光
 I' 出射光

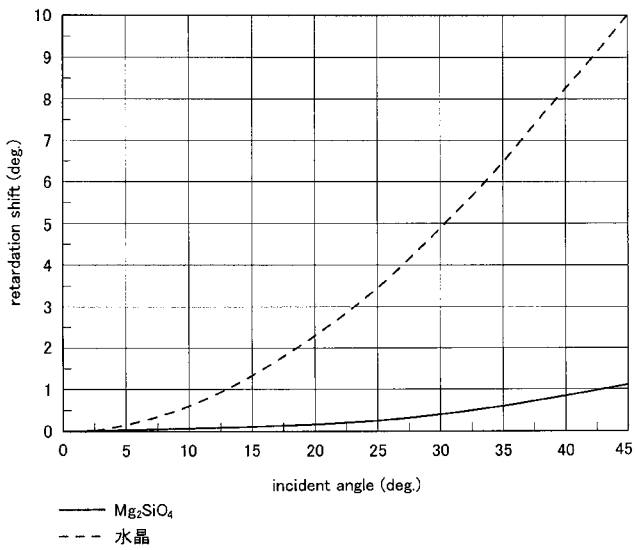
【 図 1 】



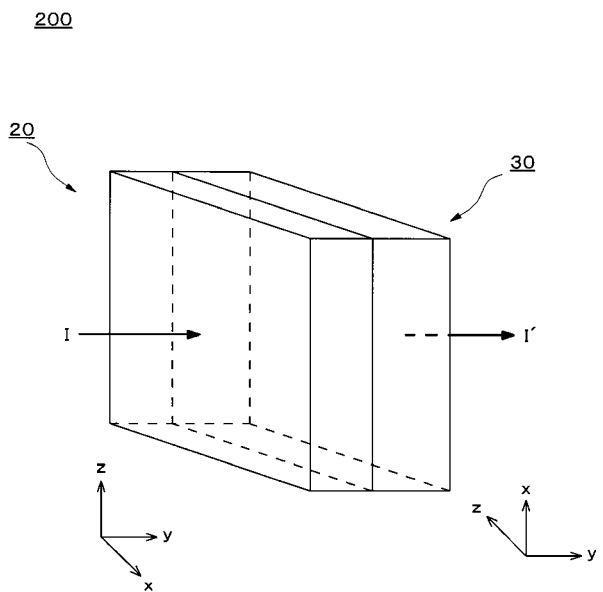
【 図 2 】



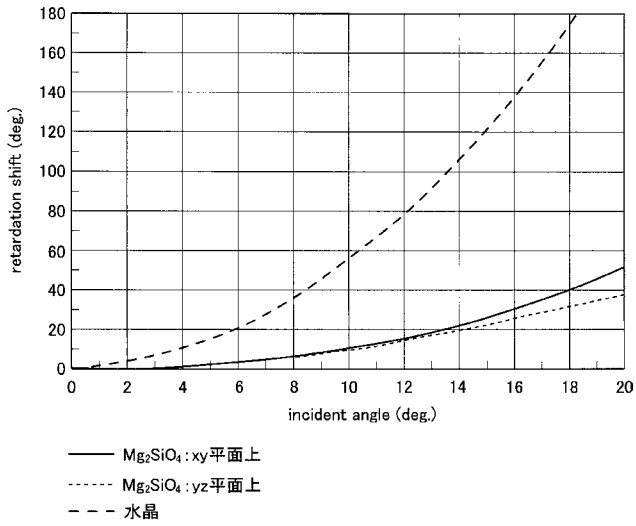
【 図 3 】



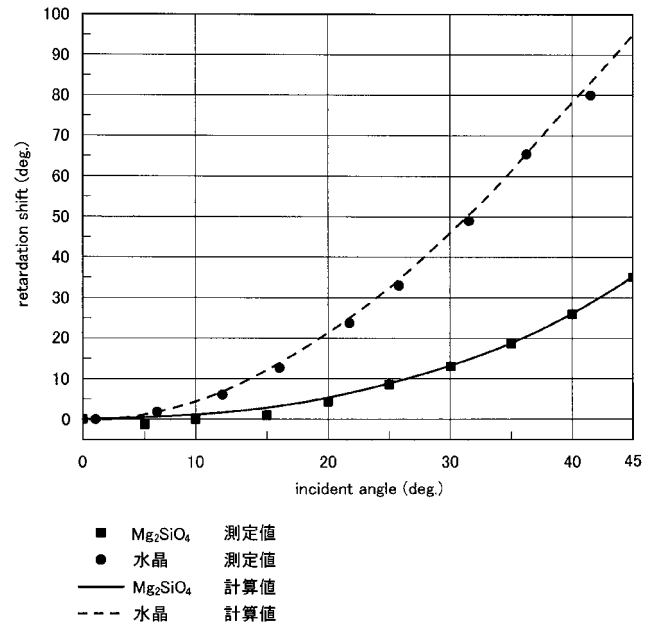
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

300

