

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6786551号
(P6786551)

(45) 発行日 令和2年11月18日(2020.11.18)

(24) 登録日 令和2年10月30日(2020.10.30)

(51) Int.Cl.

F 1

G02B 5/30 (2006.01)
G02B 5/04 (2006.01)G02B 5/30
G02B 5/04

D

請求項の数 8 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2018-112245 (P2018-112245)
 (22) 出願日 平成30年6月12日 (2018.6.12)
 (65) 公開番号 特開2019-215432 (P2019-215432A)
 (43) 公開日 令和1年12月19日 (2019.12.19)
 審査請求日 令和2年3月3日 (2020.3.3)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 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 100083580
 弁理士 秋山 敦
 (74) 代理人 100111109
 弁理士 城田 百合子
 (72) 発明者 ▲柳▼澤 保明
 神奈川県厚木市温水135番地 株式会社
 光学技研内
 (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

審査官 堀井 康司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】全反射型偏光子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射光線の二つの偏光成分の一方を全反射により除去する全反射型偏光子であって、異常光屈折率が常光屈折率よりも大きい一軸性結晶で形成された複数のプリズムと、前記複数のプリズムの間に薄層と、を備え、
 前記薄層の屈折率が前記一軸性結晶の常光屈折率より小さく、
 前記複数のプリズムの光学軸は互いに平行であり、
 前記複数のプリズムの光学軸は前記入射光線の光軸と直交し、
 前記複数のプリズムとして、第一プリズム、第二プリズム及び第三プリズムを備え、
 前記薄層として第一薄層及び第二薄層を備え、

前記第二プリズムは、屈折率が前記一軸性結晶の常光屈折率より小さい前記第一薄層を介して前記第一プリズムと隣接しており、

前記第三プリズムは、屈折率が前記一軸性結晶の常光屈折率より小さい前記第二薄層を介して前記第二プリズムと隣接しており、

前記第一プリズムの前記第一薄層に対向する第一出射光学面、及び、前記第二プリズムの前記第二薄層に対向する第二出射光学面において、前記入射光線の一方の偏光成分を全反射により除去することを特徴とする全反射型偏光子。

【請求項 2】

前記薄層が空気の層であることを特徴とする請求項 1 に記載の全反射型偏光子。

【請求項 3】

10

20

前記薄層の厚みが $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載の全反射型偏光子。

【請求項4】

前記複数のプリズムは、前記薄層に対向する面に反射防止膜を備えることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載の全反射型偏光子。

【請求項5】

請求項1乃至4のいずれか一項に記載の全反射型偏光子と、
前記薄層の方向と同一方向に傾斜され、前記薄層と同数で配置された収差補正板を備えることを特徴とする光学系。

【請求項6】

10

前記複数のプリズムが YVO_4 で構成され、

前記薄層が空気層であり、該空気層の厚みが $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか一項に記載の全反射型偏光子。

【請求項7】

前記複数のプリズムがルチル型 TiO_2 で構成され、

前記薄層が空気層であり、該空気層の厚みが $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか一項に記載の全反射型偏光子。

【請求項8】

請求項1乃至4, 6, 7のいずれか一項に記載の全反射型偏光子を組み込んだことを特徴とする光アッテネーター。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、偏光子に係り、特に入射光線の二つの偏光成分の一方を全反射により除去する全反射型偏光子に関する。

【背景技術】

【0002】

レーザー光の様な、光源の光強度が高い光学系に用いる偏光子には、有機物より、光耐性の高い結晶を用いる事が多く、加えて、高消光比である事が求められる場合が多い事からも、ほとんどの場合、結晶を用いた全反射型偏光子が使用されている。特に光強度の高いレーザー光を光源とする場合、偏光子には、接合部の無い、複屈折結晶製プリズムの間に空気間隙を配したグラン-テーラープリズム型の全反射型偏光子が用いられている。

30

【0003】

高出力レーザー光に用いられる偏光子は、レーザー加工機の光アッテネーターに限らず、高いスループットが要求される検査機器、測定機器、分析機器にも使用されている。

【0004】

一般的に使用されている高光耐力、高消光比偏光子として、方解石製や -BBO ($\text{-BaB}_2\text{O}_4$)製のグラン-テーラープリズムがある。しかし、プリズム材に常光屈折率(n_o)が異常光屈折率(n_e)より大きい負の一軸性結晶($n_o > n_e$)である方解石や、 -BBO を用いた一般的なグラン-テーラープリズムは、プリズム内での異常光線が透過光になるため、異常光屈折率の入射角依存性による収差の影響が生じる。したがって、集光光を従来のグラン-テーラープリズムに入射した場合、非点収差状の収差の影響を受けて、集光点が小さくならない。また、一般的なグラン-テーラープリズムの空気間隙の厚みは、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 程度であるため、空気間隙で発生するコマ収差、非点収差により集光点を小さくすることは出来なかった。

40

【0005】

図24上図は、入射角 $\pm 2^\circ$ の集光光を方解石製のグラン-テーラープリズムに入射した場合の集光光サイズの計算結果である。空気間隙の厚みは $70\text{ }\mu\text{m}$ で計算した。また、グラン-テーラープリズムは、 YVO_4 やルチルなど、正の一軸性結晶を用いて作られる事もある。図24下図は、 YVO_4 製グラン-テーラープリズムに集光光を透過した場合の

50

集光点のサイズの計算結果である。YVO₄ 製グラン - テーラープリズムのプリズム材は、正の一軸性結晶であるが、空気間隙の厚みが 70 μm と厚いため、集光点の大きさが小さくならない。図 24 の結果から、方解石製及び YVO₄ 製のグラン - テーラープリズムにおいて、集光点のサイズは、約 40 ~ 50 μm と大きい事が分かる。

【0006】

方解石製グラン - トムソンプリズムやグラン - テーラープリズムを含めた従来の高消光比偏光子のほとんどは、収差が大きいため、結像性能が悪く、結像性能が求められる用途に適していない。従来の偏光子を使用する場合、偏光子を配置するために、光学系を特別な設計にする必要があり、また、偏光子を配置可能となる位置にも制限があった。

【0007】

一方、偏光分離型偏光子であるローションプリズムは、使用する一軸性結晶が正であるか、負であるかに係わらず、常光線を透過光にすることが出来るため、集光光のサイズを小さくすることが可能ある。しかし、ローションプリズムは、入射光線の二つの偏光成分の一方を屈折により除去する偏光分離型であるため、集光光を使用する場合、分離角を集光角より大きくする必要がある。また、ローションプリズムでは、分離角を大きくするためには、プリズムの楔角を大きくする必要がある。この場合、二つのプリズムの間を高出力レーザー用途に適した空気層とすると、第 1 プリズム部の出射光学面で、全ての光が全反射してしまい、光が透過しない。また、入射光線が大きさを持つため、分離光を分離するためには、ローションプリズムの後に長いスペースを必要とし、装置の小型化の妨げとなる。さらに、ローションプリズムは、入射光の入射角、入射方向により透過率が変化する特長があるため、透過光線に輝度分布（輝度ムラ）が発生するので、結像光学系での使用に適していない。上記の理由により、ローションプリズムは、高出力レーザー光を光源とする用途に適していない。

【0008】

特許文献 1 には、複数の一軸性結晶製プリズムを、光学軸が交互に直交になるように、配置された構造で、それぞれの結晶プリズム間の間隙を小さくすることで、収差が小さくなる事が記載されている。

【0009】

非特許文献 1 には、方解石製グラン - テーラープリズムの空気間隙を 15 μm にすることで、色収差を低減する例が示されているが、これは集光点のサイズをぼかし、波長ごとの集光点のサイズを同程度のサイズにするものである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献 1】特表 2016 - 517040 号公報

【非特許文献】

【0011】

【非特許文献 1】WuHai-Ying et al., "Analysis and evaluation of Glan-Taylor prism's image quality in a new polarization interference imaging spectrometer", Acta Physica Sinica, vol. 57, no. 6, pp. 3499-3505 (2008).

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

レーザー加工機では、レーザー光を集光して使用するが、近年、測定機器や分析機器に使用する場合にも、微小領域の偏光解析、高分解能な面内情報の分析が重要性を増しており、そのため、偏光子にも結像性能が求められている。つまり、結像光学系内で用いても消光比が高く、波長特性、視野角特性にも優れた偏光子が必要とされている。

【0013】

本発明者らが、複屈折性結晶を用いた高消光比を示す全反射型偏光子の低収差化に必要な条件を検討したところ、（条件 1）偏光子を透過する光線（出射光線）が常光線である

10

20

30

40

50

こと、及び、(条件2)偏光子に入射する光線(入射光線)が偏光子内で直進することの2つの条件を満たす必要があることを見出した。

【0014】

具体的には、偏光子を透過する光線(出射光線)が常光線であることで入射角の違いによる屈折率変化を受けず、異常光線を全反射によって分離することで、高い消光比が実現される。また、偏光子に入射する光線(入射光線)が偏光子内で直進することで、低収差化が実現される。

【0015】

特許文献1に記載の偏光子アセンブリにおいて、透過光は必ず各プリズム内で常光線と異常光線を交互に繰り返すため、透過光を常光線とする構造ではない。また、特許文献1に記載の偏光子アセンブリでは、プリズム間に配置されるのは空気や光学セメント等の等方性材料であり、もしくは、プリズムは直接接合されているが、特許文献1に記載の偏光子アセンブリは、視野角を拡大することを目的としており、空気間隙は無くても良く、空気間隙を設ける場合、間隙の厚みは、薄い方が収差を大きくしないために好ましいことが示されている。したがって、特許文献1に記載の偏光子アセンブリは、収差の程度としては、一般的なウォラストンプリズムと同程度であり、その収差は小さいものではない。

10

【0016】

非特許文献1に記載の方解石製グランテーラープリズムは、収差の低減を目的とするものではない。具体的には、非特許文献1に記載の方解石製グラン - テーラープリズムは、各波長での集光点サイズが大きいため、集光点のサイズを小さくし、分解能の高い二次元像を実現することはできない。また、プリズム材に負の一軸性結晶である方解石を用いているため、透過光は、プリズム内では異常光線である。

20

【0017】

本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、本発明の目的は、高消光比で低収差な全反射型偏光子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明者らは、上記課題を解決すべく鋭意研究した結果、グラン - テーラープリズムにおいて、プリズム材を正の一軸性結晶とし、プリズム間に屈折率が一軸性結晶の常光屈折率より小さい薄層を配置することで、飛躍的に収差が低減されることを見出し、本発明を完成するに至った。

30

【0019】

前記課題は、本発明の全反射型偏光子によれば、入射光線の二つの偏光成分の一方を全反射により除去する全反射型偏光子であって、異常光屈折率(n_e)が常光屈折率(n_o)よりも大きい一軸性結晶で形成された複数のプリズムと、前記複数のプリズムの間に薄層と、を備え、前記薄層の屈折率(n)が前記一軸性結晶の常光屈折率(n_o)より小さく、前記複数のプリズムの光学軸は互いに平行であり、前記複数のプリズムの光学軸は前記入射光線の光軸と直交し、前記複数のプリズムとして、第一プリズム、第二プリズム及び第三プリズムを備え、前記薄層として第一薄層及び第二薄層を備え、前記第二プリズムは、屈折率が前記一軸性結晶の常光屈折率より小さい前記第一薄層を介して前記第一プリズムと隣接しており、前記第三プリズムは、屈折率が前記一軸性結晶の常光屈折率より小さい前記第二薄層を介して前記第二プリズムと隣接しており、前記第一プリズムの前記第一薄層に対向する第一出射光学面、及び、前記第二プリズムの前記第二薄層に対向する第二出射光学面において、前記入射光線の一方の偏光成分を全反射により除去すること、により解決される。

40

【0020】

このように、全反射型偏光子において、異常光屈折率が常光屈折率よりも大きい正の一軸性結晶で形成された2つのプリズムの間に、屈折率が一軸性結晶の常光屈折率より小さい薄層を備えているため、第一プリズムと薄層との界面において、入射光線の異常光線が全反射して分離されるとともに、入射光線の常光線に生じる屈折が小さく抑えられる。し

50

たがって、高消光比であると共に十分に収差が低減された全反射型偏光子を提供することが可能となる。

また、このように構成すると、視野角を広げると共に並進ズレを補正することが可能となる。さらにコマ収差を小さくする事が可能であるため、収差低減の観点からより好適である。

【0021】

このとき、前記薄層が空気の層であるとよい。

このとき、前記薄層の厚みが $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるとよい。

このように構成すると、高消光比であると共に収差が適切に低減された全反射型偏光子を提供することが可能となる。

10

【0022】

このとき、前記複数のプリズムは、前記薄層に対向する面に反射防止膜を備えるとよい。

このように構成すると、透過率を向上させることができると共に、ゴーストを低減することが可能となる。

【0023】

このとき、上記の全反射型偏光子と、前記薄層の方向と同一方向に傾斜され、前記薄層と同数で配置された収差補正板を備える光学系とするとよい。

このように構成すると、非点収差をより一層低減することが可能となる。

【0024】

このとき、前記複数のプリズムが YVO_4 で構成され、前記薄層が空気層であり、該空気層の厚みが $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるとよい。

20

このように構成すると、幅広い使用波長帯域かつ広い視野角である全反射型偏光子を提供することが可能となる。

【0025】

このとき、前記複数のプリズムがルチル型 TiO_2 で構成され、前記薄層が空気層であり、該空気層の厚みが $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるとよい。

このように構成すると、幅広い使用波長帯域かつ広い視野角である全反射型偏光子を提供することが可能となる。

【0027】

30

前記課題は、本発明の光アッテネーターによれば前記全反射型偏光子を組み込んだことにより解決される。

レーザー装置の発振光の光量調整は、安定性確保のため、レーザー装置外部で波長板と偏光子を組み合わせた光アッテネーターで行う事があるが、光アッテネーターに用いられる偏光子を、本発明の全反射型偏光子として、光アッテネーターを通しても、集光点が大きくならず、結果、加工性能を損なわず、光量を調整することが可能となる。

【発明の効果】

【0028】

本発明によれば、全反射型偏光子において、異常光屈折率が常光屈折率よりも大きい正の一軸性結晶で形成された2つのプリズムの間に、屈折率が一軸性結晶の常光屈折率よりも小さい薄層を備えており、出射される光線が常光線であり、かつ、偏光子内において常光線が直進するため、高消光比であると共に十分に収差を低減することが可能となる。

40

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】本発明の実施の形態1に係る全反射型偏光子の概略構成図である。

【図2】本発明の実施の形態1に係る全反射型偏光子を透過した光線の集光サイズ及び形状を示すスポットダイヤグラムである。

【図3】空気層Gの厚さとスポットサイズの関係を示すグラフである。

【図4】本発明の実施の形態2に係る全反射型偏光子の概略構成図である。

【図5】本発明の実施の形態3に係る全反射型偏光子の概略構成図である。

50

【図6】本発明の実施の形態4に係る全反射型偏光子の概略構成図である。

【図7】本発明の実施の形態4に係る全反射型偏光子を透過した光線のスポットダイヤグラムである。

【図8】本発明の実施の形態4に係る全反射型偏光子を透過した光線の集光サイズ及び形状を示すスポットダイヤグラムである。

【図9】本発明に係る全反射型偏光子を補正板と組み合わせた場合の概略構成図である。

【図10】本発明に係る全反射型偏光子を補正板と組み合わせた場合に透過した光線のスポットダイヤグラムである。

【図11】実施例1に係る全反射型偏光子の構成を示す概略構成図である。

【図12】実施例1に係る全反射型偏光子を透過した光線の集光サイズを示すスポットダイヤグラムである。 10

【図13】実施例1に係る全反射型偏光子において YVO_4 から空気へ出射する光線の入射角と反射率の関係を表すグラフである。

【図14】実施例2に係る全反射型偏光子の構成を示す概略構成図である。

【図15】実施例2に係る全反射型偏光子を透過した光線の集光サイズを示すスポットダイヤグラムである。

【図16】実施例2に係る全反射型偏光子においてルチル型 TiO_2 から空気へ出射する光線の入射角と反射率の関係を表すグラフである。

【図17】実施例3に係る全反射型偏光子の構成を示す概略構成図である。

【図18】実施例3に係る全反射型偏光子を透過した光線の集光サイズを示すスポットダイヤグラムである。 20

【図19】実施例3に係る全反射型偏光子において YVO_4 から空気へ出射する光線の入射角と反射率の関係を表すグラフである。

【図20】実施例4に係る全反射型偏光子の構成を示す概略構成図である。

【図21】実施例4に係る全反射型偏光子を透過した光線の集光サイズを示すスポットダイヤグラムである。

【図22】実施例5に係る全反射型偏光子の構成を示す概略構成図である。

【図23】実施例5に係る全反射型偏光子を透過した光線の集光サイズを示すスポットダイヤグラムである。

【図24】方解石製のグラン - テーラーブリズムを透過した集光光の集光サイズを示すスポットダイヤグラムである（上図）。 YVO_4 製のグラン - テーラーブリズムを透過した集光光の集光サイズを示すスポットダイヤグラムである（下図）。 30

【発明を実施するための形態】

【0030】

以下、本発明の一実施形態に係る全反射型偏光子について、図1乃至図23を参照しながら説明する。

本発明に係る全反射型偏光子は、グラン - テーラーブリズムの欠点を解消した高消光比で低収差な全反射型偏光子である。

【0031】

「複屈折性」とは、光学的異方性を有する材料に光線が入射したとき、屈折光が2つに分れる性質をいう。複屈折性の結晶材料に光が入射した場合、入射光線は常光線（O線：Ordinary Wave）と異常光線（E線：Extraordinary Wave）に分離される。 40

「常光線」は、複屈折性を有する結晶材料の光学軸と入射光線の光軸とで形成される平面に対し直交するように振動する光線であり、光学軸の影響を受けずに複屈折性の結晶材料内で入射光線の光軸と同一直線上を進行する。

「異常光線」は、複屈折性を有する結晶材料の光学軸と入射光線の光軸とで形成される平面に対し平行になるように振動する光線であり、光学軸の影響を受けて複屈折性の結晶材料内で常光線と分離して進行する。

常光線及び異常光線は、直線偏光成分を有する光線であり、常光線及び異常光線の電場

の振動方向は互いに直交する。

【0032】

本発明は、高出力レーザー光源にも使用可能な、高消光比で低収差な特性を持つ全反射型偏光子に関する。

【0033】

(実施の形態1)

本実施形態の全反射型偏光子P1は、図1に示すように、断面直角三角形の三角柱状の同一形状からなる第一プリズム10及び第二プリズム20と、第一プリズム10及び第二プリズム20の間に配置された薄層(空気層Gであると好適である)と、を備えている。また、本実施形態の全反射型偏光子P1は、図1に示すように、入射光線Iの光軸Xに沿って、第一プリズム10、空気層G、第二プリズム20の順に配列されて構成されている。
10

【0034】

第一プリズム10は、入射光線Iが入射する第一入射光学面12と、入射光線Iの一方の偏光が全反射され、他方の偏光が出射する第一出射光学面14と、を備えている。

第二プリズム20は、分離された入射光線Iの一方の偏光が入射する第二入射光学面22と、分離された入射光線Iの一方の偏光が出射光線Eとして出射する第二出射光学面24と、を備えている。

【0035】

第一プリズム10及び第二プリズム20は、異常光屈折率(n_e)が、常光屈折率(n_o)よりも大きい、つまり $n_e > n_o$ である一軸性結晶で形成されている。より詳細には、第一プリズム10及び第二プリズム20は、複屈折の大きな正の一軸性結晶で形成されている。複屈折の大きな正の一軸性結晶の例として、 YVO_4 やルチル型 TiO_2 が挙げられるがこれらに限定されるものではない。
20

【0036】

YVO_4 の屈折率は、波長 = 500 nmにおいて、 $n_e = 2.268$ 、 $n_o = 2.030$ であり、波長 = 1064 nmにおいて、 $n_e = 2.165$ 、 $n_o = 1.957$ であり、波長 = 3400 nmにおいて、 $n_e = 2.113$ 、 $n_o = 1.913$ である。

また、ルチル型 TiO_2 の屈折率は、波長 = 600 nmにおいて、 $n_e = 2.899$ 、 $n_o = 2.605$ であり、波長 = 1064 nmにおいて、 $n_e = 2.741$ 、 $n_o = 2.479$ であり、波長 = 4000 nmにおいて、 $n_e = 2.687$ 、 $n_o = 2.435$ である。
30

【0037】

図1に示すように、第一プリズム10の第一入射光学面12と第一出射光学面14は楔角度をなしており、同様に、第二プリズム20の第二入射光学面22と第二出射光学面24も楔角度をなしている。ここで、楔角度は、全反射型偏光子P1に入射する入射光線Iのうち、異常光線のみが全反射する角度の範囲において、使用用途、使用波長に応じて設定することが可能である。

【0038】

具体的には、本実施形態の全反射型偏光子P1は、一般的なグラン-テーラープリズムと同様に、第一プリズム10及び第二プリズム20を形成する正の一軸性結晶の常光屈折率を n_{pr0} 、異常光屈折率を n_{pre} とし、空気層G(薄層)の屈折率をn (= 1)とし、第一プリズム10及び第二プリズム20の楔角度をとした場合、下記式(1)を満たす。
40

$$\sin^{-1}(n / n_{pre}) < \sin^{-1}(n / n_{pr0}) \quad \text{式(1)}$$

【0039】

式(1)の導出は、以下のとおりである。一軸性結晶は、常光屈折率(n_{pr0})と異常光屈折率(n_{pre})を持つため、本実施形態の全反射型偏光子P1は、以下の式(2)、式(3)に示す様に、異なる一対の全反射(臨界角)、すなわち、臨界角 c_1 及び臨界角 c_2 を持つ。
50

$$\text{臨界角 } c_1 = \sin^{-1}(n / n_{\text{pr}_o}) \quad \text{式(2)}$$

$$\text{臨界角 } c_2 = \sin^{-1}(n / n_{\text{pr}_e}) \quad \text{式(3)}$$

【0040】

全反射偏光子としての機能が得られる範囲は、臨界角 c_1 と臨界角 c_2 の間の角度で入射光が入射した場合である。この場合、プリズムの楔角度 θ は、式(4)を満たす事になる。

$$c_2 < c_1 \quad \text{式(4)}$$

式(4)に、式(2)及び式(3)の臨界角 c_1 及び臨界角 c_2 を代入することで式(1)が得られる。

【0041】

図1に示すように、第一プリズム10の第一光学軸A1（一軸性結晶の光学軸）は、第二プリズム20の第二光学軸A2（一軸性結晶の光学軸）と互いに平行である。このとき、第一光学軸A1及び第二光学軸A2が、入射光線Iの光軸Xに対して垂直であると好適である。第一光学軸A1及び第二光学軸A2が入射光線Iの光軸Xに対して垂直になつていなければ、低収差の全反射型偏光子として機能するが、第一光学軸A1及び第二光学軸A2が入射光線Iの光軸Xに対して垂直に配置された場合に、最も視野角が大きくなり、全反射型偏光子として、高い機能を示す。なお、第一光学軸A1及び第二光学軸A2は、互いに平行であり、かつ、入射光線Iの光軸Xに垂直であれば、図1以外の方向とする事も可能である。

【0042】

薄層である空気層Gの厚みdは、収差低減のためには、20 μm以下と薄いことが好ましいが、より好ましくは10 μm以下、特に好ましくは5 μm以下とするとい。また、光トンネル効果を防止する観点から、空気層Gの厚みdは0.5 μm以上とすると好適である。

【0043】

本実施形態の全反射型偏光子P1を用いた入射光の偏光が分離される様子を、図1を参照して説明する。

本実施形態の全反射型偏光子P1に、第一プリズム10の第一入射光学面12から入射光線Iが入射すると、入射光線Iは、第一プリズム10の第一出射光学面14と空気層Gとの界面において、一方の偏光成分（異常光線）が全反射して反射光線Rとして分離（除去）され、他方の偏光成分（常光線）は空気層G及び第二プリズム20を透過して、第二プリズム20の第二出射光学面24から出射光線Eとして出射される。つまり、第一プリズム10の第一出射光学面14と空気層Gとの界面が全反射部として機能する。なお、図1では図示を省略しているが、一部ではあるが常光線が反射光線Rに混入している。

【0044】

第一プリズム10及び第二プリズム20は、上記式(1)を満たし、異常光屈折率(n_{pr_e})が、常光屈折率(n_{pr_o})よりも大きい一軸性結晶で形成されているため、第一プリズム10の第一出射光学面14と空気層Gとの界面において、入射光線Iの異常光線が全反射して反射光線Rとして分離（除去）される。

【0045】

他方の偏光成分である常光線は、空気層G及び第二プリズム20を透過して、第二プリズム20の第二出射光学面24から出射される。このとき、第一プリズム10及び第二プリズム20を形成する一軸性結晶の常光屈折率(n_{pr_o})と、空気層Gの常光屈折率($n = 1$)には、ある程度の差があるが、空気層Gの厚みdが薄い場合、第一プリズム10と空気層Gの界面、及び、空気層Gと第二プリズム20の界面において生じる屈折が小さく抑えられる。したがって、常光線は、全反射型偏光子P1において、入射光線Iの光軸Xからの乖離が抑制されて直進するため、収差が低減されることとなる。

【0046】

以上のように、本実施形態の全反射型偏光子P1によれば、全反射型偏光子P1から出射される光線が常光線であり、かつ、全反射型偏光子P1内において屈折が小さく抑えら

10

20

30

40

50

れて直進するため、十分に収差を低減することが可能となる。

【0047】

第一プリズム10及び第二プリズム20を正の一軸性結晶である YVO_4 で形成し、空気層G(空気間隙)の厚みdを5μm又は20μmとした全反射型偏光子P1に、入射角±2°の集光光を入射した場合の、集光点の形状及びサイズを、図2に示す。図2上図に示すように、空気層Gの厚みdが5μmの時は、集光点のスポットサイズは約4μmであり、図2下図に示すように、空気層Gの厚みdが20μmの時は、集光点のスポットサイズは約15μmであり、図24の例に比べて半分以下になっている事が分かる。

【0048】

集光点のスポットサイズが、小さくなることで、レーザー加工などレーザー光を集光している光路の途中に本実施形態の全反射型偏光子P1を組み込んだ場合であっても、加工性を損なう事が無い。また、結像光学系に本実施形態の全反射型偏光子P1を用いた場合も、結像性能を損なう事が無くなり、高分解能な二次元偏光解析を行うことが可能になる。

【0049】

第一プリズム10及び第二プリズム20を正の一軸性結晶である YVO_4 で形成した場合、空気層G(空気間隙)の厚みd=0.5μmより小さくした場合、光トンネル効果により、プリズムと空気層Gの界面で全反射せず、出射側プリズムである第二プリズム20に光が透過し、消光比の低下の原因となる。したがって、正の一軸性結晶として YVO_4 を用いた場合、空気層Gの厚みdは、0.5μm以上とする必要がある。

【0050】

図3に、グラン-テーラープリズムにおける空気層Gの厚さとスポットサイズの関係を示す。図3の上図では、 YVO_4 を用いた場合、ルチル型 TiO_2 を用いた場合を分けしており、図3の下図では、 YVO_4 を用いた場合とルチル型 TiO_2 を用いた場合の平均値を示している。図中の太線は、方解石製グラン-テーラープリズムでスポット径が最小になるスペーサー厚100μmの時のスポット径である約45μmを示している。空気層厚とスポット径サイズの関係は、プリズム素材(屈折率)によって若干異なる。空気層厚20μm以下であれば、 YVO_4 を用いた場合でも、ルチル型 TiO_2 を用いた場合でも、従来の方解石製グラン-テーラープリズムと比較して、スポット径が半分以下となり、収差性能が約2倍になることがわかった。

【0051】

本実施形態の全反射型偏光子P1は、高い消光比を有している。ここで、消光比とは、偏光子から出射される出射光線Eに関し、一方の偏光(常光線)の強度を P_o とし、他方の偏光(異常光線)の強度を P_E としたときに、消光比/ $dB = -10\log(P_E/P_o)$ で表すことが出来る。全反射型偏光子P1の消光比は、好ましくは50dB以上であり、特に好ましくは60dB以上である。

【0052】

(実施の形態2)

本発明の他の実施形態に係る全反射型偏光子P2を、図4を参照して説明する。

本実施形態の全反射型偏光子P2は、入射光線Iの光軸Xに対する第一プリズム10の第一光学軸A1及び第二プリズム20の第二光学軸A2の方向が異なる点を除いては、実施の形態1の全反射型偏光子P1と同様の構成からなる。

【0053】

全反射型偏光子P2に、第一プリズム10の第一入射光学面12から入射光線Iが入射すると、入射光線Iは、第一プリズム10の第一出射光学面14と空気層Gとの界面において、一方の偏光成分(異常光線)が全反射して反射光線Rとして分離(除去)され、他方の偏光成分(常光線)は空気層G及び第二プリズム20を透過して、第二プリズム20の第二出射光学面24から出射される。つまり、第一プリズム10の第一出射光学面14と空気層Gとの界面が全反射部として機能する。なお、図4では図示を省略しているが、一部ではあるが常光線が反射光線Rに混入している。

10

20

30

40

50

【0054】

全反射型偏光子P2では、P1と比べ、入射光線Iの光軸Xに対する第一プリズム10の第一光学軸A1及び第二プリズム20の第二光学軸A2の方向が異なるため（第一光学軸A1、第二光学軸A2が、紙面に対して平行の配置であるため）、全反射型偏光子P1の場合（第一光学軸A1、第二光学軸A2が、紙面に対して垂直の配置）と比較すると、異常光線及び常光線の成分が反対となる。

【0055】

図1及び図4に示した例では、第一プリズム10の第一出射光学面14で全反射により反射された反射光線Rを、第一プリズム10の上面で散乱または吸収させる構造としているが、第一プリズム10の上面を研磨し、この研磨面を通して反射光線Rを偏光子の外部に取り出す、グラン・レーザー・プリズム構造にしても良い。プリズムの上面を散乱させるために砂目状にしたり、吸収させるために黒色塗料を塗布したりした場合のレーザー耐性は、研磨面よりも低いため、第一プリズム10の上面を研磨面とする構造にすると、高出力レーザーに対して偏光子を用いる場合に、より好適となる。10

【0056】

(実施の形態3)

本発明の他の実施形態に係る全反射型偏光子P3を、図5を参照して説明する。

図5に示す様に、全反射型偏光子P3は、第一プリズム10の第一出射光学面14及び第二プリズム20の第二入射光学面22に反射防止膜ARが施されている点を除いては、実施の形態1の全反射型偏光子P1と同様の構成からなる。20

【0057】

第一プリズム10の第一出射光学面14及び第二プリズム20の第二入射光学面22に反射防止膜ARが施されていることで、空気層Gで発生するゴーストを低減することが出来るため好適である。なお、第一プリズム10の第一入射光学面12、第二プリズム20の第二出射光学面24に反射防止膜ARを施することで、透過率を向上させたり、ゴーストを低減したりすることが可能である。

【0058】

反射防止膜ARとしては、公知の材料が用いられる。例えば、チタン膜、酸化チタン膜、チッ化チタン膜、酸化クロム膜、カーボン膜、フッ化マグネシウム(MgF₂)膜、酸化ケイ素膜、酸化ジルコニアム膜、酸化アルミニウム膜、酸化ハフニウム膜、H4(メルク社製品名:チタン酸ランタン)膜、M2(メルク社製品名:ランタンアルミニート)膜、M3(メルク社製品名:ランタンアルミニート)膜、Ta₂O₅膜等の無機膜を真空蒸着、CVD、スパッタリング等の方法により形成したものや、メタクリル樹脂等の有機膜を塗布等の方法により成形したものが挙げられる。また、これら膜を適宜積層してもよい。30

【0059】

また、図5では、実施の形態1の全反射型偏光子P1の第一出射光学面14及び第二入射光学面22に反射防止膜ARを施したものであるが、実施の形態2の全反射型偏光子P2の第一出射光学面14及び第二入射光学面22に反射防止膜ARを施しても、同様の効果を得ることが可能である。40

【0060】

(実施の形態4)

本発明の他の実施形態に係る全反射型偏光子P4を、図6を参照して説明する。

全反射型偏光子P4は、一般的にダブルグラン・テーラー・プリズムと呼ばれる構造であり、グラン・テーラー・プリズムの視野角を広げる目的で採用される構造である。

【0061】

本実施形態の全反射型偏光子P4は、図6に示すように、断面直角三角形の三角柱状の同一形状からなる第一プリズム10及び第三プリズム30と、第一プリズム10及び第三プリズム30の間に配置された第二プリズム20と、を備えており、第一プリズム10と第二プリズム20の間に第一空気層G1を備え、第二プリズム20と第三プリズム30の50

間に第二空気層G2を備えている。また、本実施形態の全反射型偏光子P4は、図6に示すように、入射光線Iの光軸Xに沿って、第一プリズム10、第一空気層G1、第二プリズム20、第二空気層G2、第三プリズム30の順に配列されて構成されている。

【0062】

第一プリズム10は、入射光線Iが入射する第一入射光学面12と、入射光線Iの一方の偏光が全反射され、他方の偏光が出射する第一出射光学面14と、を備えている。

第二プリズム20は、分離された入射光線Iの一方の偏光が入射する第二入射光学面22と、分離された入射光線Iの一方の偏光が出射光線Eとして出射する第二出射光学面24と、を備えている。

第三プリズム30は、分離された入射光線Iの一方の偏光が入射する第三入射光学面32と、分離された入射光線Iの一方の偏光が出射光線Eとして出射する第三出射光学面34と、を備えている。10

【0063】

第一プリズム10、第二プリズム20、第三プリズム30は、異常光屈折率(n_e)が、常光屈折率(n_o)よりも大きい、つまり $n_e > n_o$ である一軸性結晶、例えば、YVO₄やルチル型TiO₂で形成されている。

【0064】

図6に示すように、第一プリズム10の第一入射光学面12と第一出射光学面14は楔角度をなしており、同様に、第三プリズム30の第三入射光学面32と第三出射光学面34も楔角度をなしている。また、第二プリズム20の第二入射光学面22と第二出射光学面24は楔角度の2倍の楔角度(2)をなしている。ここで、楔角度は、全反射型偏光子P4に入射する入射光線Iのうち、異常光線のみが全反射する角度の範囲において、使用用途、使用波長に応じて設定することが可能である。20

【0065】

図6に示すように、第一プリズム10の第一光学軸A1(一軸性結晶の光学軸)、第二プリズム20の第二光学軸A2(一軸性結晶の光学軸)、第三プリズム30の第三光学軸A3は、互いに平行である(第一光学軸A1、第二光学軸A2、第三光学軸A3が紙面に対して垂直となるように配置されている)。

【0066】

第一空気層G1及び第二空気層G2の厚みdは、収差低減のためには、20μm以下と薄い方が好ましいが、5μm以下とするとより好適である。また、光トンネル効果を防止する観点から、第一空気層G1及び第二空気層G2の厚みdはそれぞれ0.5μm以上とする必要がある。30

【0067】

全反射型偏光子P4では、一般的なダブルグラン-テーラープリズムと同様に、視野角を広げる効果と並進ズレを補正する効果があるが、さらにコマ収差を小さくする事が可能であるため、収差低減の観点からより好適である。偏光子の形状を左右対称とする事で、コマ収差が減少する効果は、特表2016-517040号公報にも記載がある。しかし、全反射型偏光子P4とは、光学軸の方向が異なり、また、第一プリズム10の第一出射光学面14、及び第二プリズム20の第二出射光学面24の両方の出射光学面で全反射をさせる点が異なる。そのため、収差に対する効果が全反射型偏光子P4とは異なっている。特表2016-517040号公報に記載の偏光子では、すべてのプリズムで透過光が常光線では無く、異常光成分が含まれ、その結果、偏光子自体の収差は、大きくなっている。40

【0068】

図6に示すように、全反射型偏光子P4では、第一プリズム10の第一出射光学面14と第一空気層G1との界面、及び、第二プリズム20の第二出射光学面24と第二空気層G2との界面が全反射部として機能する。

【0069】

第一プリズム10、第二プリズム20、第三プリズム30を正の一軸性結晶であるYV

50

O_4 で形成し、第一空気層 G 1 及び第二空気層 G 2 (空気間隙) の厚み d を $5 \mu\text{m}$ 又は $20 \mu\text{m}$ とした全反射型偏光子 P 4 に、入射角 $\pm 2^\circ$ の集光光を入射した場合の、集光点の形状及びサイズを、図 7 に示す。図 7 に示すように、図 24 や図 2 と比較して、スポットの形状が丸くなっている事は、光学系にとって好ましく、ダブルグラン - テーラープリズム構造とした場合の効果が大きい事が分かる。

【0070】

ダブルグラン - テーラー構造の全反射型偏光子 P 4 においても、第一プリズム 10 の第一出射光学面 14、第二プリズム 20 の第二入射光学面 22 及び第二出射光学面 24、第三プリズム 30 の第三入射光学面 32 に反射防止膜 A R を施すことで、透過率を向上させたり、ゴーストを低減したりすることが可能である。また、第一プリズム 10 の第一入射光学面 12、第三プリズム 30 の第三出射光学面 34 に反射防止膜 A R を施すことで、透過率を向上させたり、ゴーストを低減したりすることが可能である。10

【0071】

また、上述の実施形態と同様に、第一プリズム 10 や第二プリズム 20 の底面を研磨し、この研磨面を通して反射光線 R を偏光子の外部に取り出す構造にすることで、レーザー耐性を向上させることが可能となる。

【0072】

(実施の形態 5)

次に、本発明の偏光子と収差補正板を併用することの効果を説明する。20

収差補正板の効果を説明するため、まず、ダブルグラン - テーラー型である実施の形態 4 の全反射型偏光子 P 4 について、集光点の前後位置におけるビーム形状の計算結果を図 8 に示す。具体的には、図 8 は、第一プリズム 10、第二プリズム 20、第三プリズム 30 を正の一軸性結晶である YVO_4 で形成し、第一空気層 G 1 及び第二空気層 G 2 (空気間隙) の厚み d を $5 \mu\text{m}$ とした全反射型偏光子 P 4 に、入射角 $\pm 2^\circ$ の集光光を入射した場合の、集光点の前後位置におけるビーム形状及びサイズを示している。

【0073】

図 8 に示すように、集光点の前後位置において、光線が長軸方向の異なる橢円になっていることが分かる。このことから、実施の形態 4 の全反射型偏光子 P 4 では、依然として非点収差成分が残存していることが分かる。30

【0074】

この残存している非点収差は、収差補正板を用いて取り除くことが可能である。収差補正板は、偏光子の空気間隙、つまり、全反射型偏光子 P 4 の第一空気層 G 1 又は第二空気層 G 2 と、同じ方向 (収差補正板が、入射光線 I の光軸 X となす角度が同じとなる方向に傾斜している) であることが好ましい。空気層 G が一つのグラン - テーラー型プリズムでは、収差補正板を一枚用い、2 力所の第一空気層 G 1 及び第二空気層 G 2 を備えるダブルグラン - テーラー型プリズムでは、収差補正板を二枚用いることが好ましい。

【0075】

空気間隙 (空気層 G) が一つの場合、収差補正板が一枚あればコマ収差の低減と、入射光線 I の並進ズレを同時に補正することが可能である。また、空気間隙 (第一空気層 G 1 及び第二空気層 G 2) が 2 力所の場合、2 力所の空気間隙で補正したコマ収差、入射光線 I の並進ズレを、収差補正板によって劣化させないために収差補正板を二枚用いることが好ましい。40

【0076】

図 9 にダブルグラン - テーラープリズム (全反射型偏光子 P 4) と収差補正板を組み合わせた例を示す。

図 9 は、収差補正板の素材に、オハラ製 S - BSL 7 を用いているが、特に材料の制約は無く、補正量は収差補正板の厚みを調整することで制御可能である。したがって、収差補正板を、プリズムを形成する材料と同一の材料で製作しても良い。収差補正板を一軸性結晶で製作する場合、常光線が透過するように収差補正板の光学軸を配置する必要がある50

。

【0077】

図10に、図9に示す本発明に係る全反射型偏光子P4を2枚の収差補正板と組み合わせた場合に、全反射型偏光子P4及び収差補正板を透過した光線のスポットダイヤグラムを示す。

【0078】

図10に示すように、収差補正板を加える事で、非点収差がさらに低減され、集光点でのスポット径は、0.4 μm以下と、一般的なグラン・テーラープリズムの150分の1になっている。また、集光点の前後における光線の形状が橢円から円形になっているため、ほぼ収差の無い理想に近い状態であることが分かる。

10

【0079】

収差補正板を用いた際の効果は、偏光子部分で発生した収差を低減するものであり、偏光子部分で発生した収差が大きい場合には、図10で示した状態にまで、収差を低減することは出来ない。図9に示す例では、偏光子自体の収差低減効果に加えて、収差補正板を用いることで、上記のように良好な収差低減効果が達成されている。

【0080】

非点収差を補正する方法として、収差補正板を用いることは、特開2012-128913号公報などに記載されているが、板状部品で発生した収差を、他の収差補正板で補正するものであり、図9に示す例では、空気間隙で発生する非点収差を補正するために収差補正板を用いている点で異なっている。

20

【0081】

本発明の全反射型偏光子が奏する効果を説明するために用いた、上記の実施の形態における計算においては、プリズムを形成する材料としてYVO₄を採用した例を示したが、YVO₄と同じ、正の一軸性結晶であるルチル型TiO₂を用いた場合もほぼ同様の効果を示す。

【0082】

レーザー装置の発振光の光量調整は、安定性確保のため、レーザー装置外部で波長板と偏光子を組み合わせた光アッテネーターで行う事がある。この光アッテネーターに用いられる偏光子を、本発明の全反射型偏光子とすることで、光アッテネーターを通して、集光点が大きくならず、結果、加工性能を損なわず、光量を調整することが可能となる。

30

【実施例】**【0083】**

以下、実施例に基づき、本発明の全反射型偏光子について更に詳細に説明するが、本発明は、以下の実施例に限定されるものではない。

【0084】

<実施例1：YVO₄プリズム+空気層(5 μm)+YVO₄プリズム>

実施例1の全反射型偏光子P5では、第一プリズム10及び第二プリズム20をYVO₄で形成し、空気層Gの厚みを5 μmに設定した。

全反射型偏光子P5は、図11に示すように、YVO₄で形成された第一プリズム10及び第二プリズム20と、第一プリズム10及び第二プリズム20の間に空気層Gと、を備え、第一プリズム10の第一光学軸A1及び第二プリズム20の第二光学軸A2は互いに平行であり、第一光学軸A1及び第二光学軸A2は、紙面と垂直(つまり、第一入射光学面12、第一出射光学面14、第二入射光学面22、第二出射光学面24と平行)となるように配置され、入射光線Iの光軸Xと直交している。

40

【0085】

表1に、第一プリズム10及び第二プリズム20の材料、第一プリズム10及び第二プリズム20の楔角度と光学軸方向(結晶軸方向)、空気層G(空気間隙)の厚みdを示す。なお、表1に示す値は、一例であり、求められる偏光子の性能により適宜、設定することが可能である。また、表2に全反射型偏光子P5の使用波長帯域、視野角、消光比を示す。以下、使用波長帯域として、偏光子の長さを40mmとして、透過率が約50%減

50

少する波長帯域を採用している。

【0086】

【表1】

第一プリズム10			空気層G	第二プリズム20		
材料	楔角度 $\alpha(^{\circ})$	軸方向	厚みd(μm)	材料	楔角度 $\alpha(^{\circ})$	軸方向
YVO ₄	28.5	紙面に 垂直	5	YVO ₄	28.5	紙面に 垂直

10

【0087】

【表2】

使用波長帯域(nm)	視野角(°)	消光比(dB)
500～3400	-2/+4.5 at $\lambda=1064\text{nm}$	$\geq 50\text{dB}$

20

【0088】

実施例1の全反射型偏光子P5は、波長 = 500～3400 nmの波長領域において偏光子として機能するが、レーザー耐性が高い構造であるため、視野角、収差をレーザー加工で良く用いられる波長 = 1064 nmでの値を示す。

【0089】

図12に示すように、実施例1の全反射型偏光子P5は、コマ収差があり、スポット形状が上下非対称であるが、スポット径は、約4 μmと非常に小さく集光出来る事が分かった。また、図13に示すように、全反射型偏光子P5の楔角は28.5°であるため、第一プリズム10の第一出射光学面14、第二プリズム20の第二入射光学面22で、常光成分にも多少の反射がある事が分かる。また、第一プリズム10の第一入射光学面12、第二プリズム20の第二出射光学面24においても、当然反射があるため、第一プリズム10及び第二プリズム20の入射光学面や出射光学面に反射防止膜を施す事で、透過率の向上、ゴーストの低減が図られ、偏光子としてより良い性能を発揮させることが可能である。

30

【0090】

第一プリズム10及び第二プリズム20を形成する材料をYVO₄とした場合、空気層G（空気隙）の厚みdが0.5 μm以下では、光トンネル効果により、第一プリズム10と空気層Gの界面で全反射が生じず、第二プリズム20に入射光線Iが透過し、消光比の低下の原因となるため、空気層Gの厚みdを0.5 μm以上とするとより好適である。

40

【0091】

<実施例2：ルチル型TiO₂プリズム+空気層(5 μm)+ルチル型TiO₂プリズム>

実施例2の全反射型偏光子P6では、第一プリズム10及び第二プリズム20をルチル型TiO₂で形成し、空気層Gの厚みを5 μmに設定した。

全反射型偏光子P6は、図14に示すように、ルチル型TiO₂で形成された第一プリズム10及び第二プリズム20と、第一プリズム10及び第二プリズム20の間に空気層Gと、を備え、第一プリズム10の第一光学軸A1及び第二プリズム20の第二光学軸A2は互いに平行であり、第一光学軸A1及び第二光学軸A2は、紙面と垂直（つまり、第一入射光学面12、第一出射光学面14、第二入射光学面22、第二出射光学面24と平行）となるように配置され、入射光線Iの光軸Xと直交している。

50

【0092】

表3に、第一プリズム10及び第二プリズム20の材料、第一プリズム10及び第二プリズム20の楔角度と光学軸方向(結晶軸方向)、空気層G(空気間隙)の厚みdを示す。また、表4に全反射型偏光子P6の使用波長帯域、視野角、消光比を示す。

【0093】

【表3】

第一プリズム10			空気層G	第二プリズム20		
材料	楔角度 a(°)	軸方向	厚みd(μm)	材料	楔角度 a(°)	軸方向
ルチル型 TiO_2	22.3	紙面に 垂直	5	ルチル型 TiO_2	22.3	紙面に 垂直

【0094】

【表4】

使用波長帯域(nm)	視野角(°)	消光比(dB)
600~4000	-2.5/+3.5 at $\lambda=1064\text{nm}$	$\geq 50\text{dB}$

10

20

【0095】

実施例2の全反射型偏光子P6は、波長 = 600~4000 nmの波長領域において偏光子として機能するが、レーザー耐性が高い構造であるため、視野角、収差をレーザー加工で良く用いられる波長 = 1064 nmでの値を示す。

【0096】

図15に示すように、実施例2の全反射型偏光子P6は、コマ収差があり、スポット形状が上下非対称であるが、スポット径は、約8 μmと非常に小さく集光出来る事が分かった。また、図16に示すように、全反射型偏光子P6の楔角は22.3°であり、第一プリズム10の第一出射光学面14、第二プリズム20の第二入射光学面22における常光の反射率が非常に小さくなっているため、第一出射光学面14や第二入射光学面22に反射防止膜を施さなくてもゴーストが十分に低減されている。なお、第一プリズム10及び第二プリズム20の入射光学面や出射光学面に反射防止膜を施す事で、透過率の向上、ゴーストの低減が図られ、偏光子としてより良い性能を発揮させることが可能である。

30

【0097】

実施例2の全反射型偏光子P6では、赤外光領域で性能を発揮する構造となるように各パラメータを設定したが、ルチル型 TiO_2 の結晶は、500 nm以上の波長の光を透過するため、楔角を適宜調整することで、500 nm以上の波長の光に対する偏光子として機能させる事が可能である。

40

【0098】

第一プリズム10及び第二プリズム20を形成する材料をルチル型 TiO_2 とした場合、空気層G(空気間隙)の厚みdが0.5 μm以下では、光トンネル効果により、第一プリズム10と空気層Gの界面で全反射が生じず、第二プリズム20に入射光線Iが透過し、消光比の低下の原因となるため、空気層Gの厚みdを0.5 μm以上とするとより好適である。

【0099】

<実施例3：YVO₄ダブルグラン-テーラープリズム>

実施例3は、ダブルグラン-テーラープリズム型の全反射型偏光子P7である。第一プリズム10、第二プリズム20及び第三プリズム30をYVO₄で形成し、第一空気層G

50

1 及び第二空気層 G 2 の厚みをそれぞれ 5 μm に設定した。

【0100】

全反射型偏光子 P 7 は、図 17 に示すように、 YVO_4 で形成された断面直角三角形の三角柱状の同一形状からなる第一プリズム 10 及び第三プリズム 30 と、第一プリズム 10 及び第三プリズム 30 の間に配置された YVO_4 で形成された第二プリズム 20 と、を備えており、第一プリズム 10 と第二プリズム 20 の間に第一空気層 G 1 を備え、第二プリズム 20 と第三プリズム 30 の間に第二空気層 G 2 を備えている。第一プリズム 10 の第一光学軸 A 1、第二プリズム 20 の第二光学軸 A 2、及び第三プリズム 30 の第三光学軸 A 3 は、互いに平行であり、第一光学軸 A 1、第二光学軸 A 2 及び第三光学軸 A 3 は、紙面と垂直（つまり、第一入射光学面 12、第一出射光学面 14、第二入射光学面 22、第二出射光学面 24、第三入射光学面 32、第三出射光学面 34 と平行）となるように配置され、入射光線 I の光軸 X と直交している。10

【0101】

表 5 に、第一プリズム 10、第二プリズム 20 及び第三プリズム 30 の材料、第一プリズム 10 及び第三プリズム 30 の楔角度、第二プリズム 20 の楔角度（2 α ）、光学軸方向（結晶軸方向）、第一空気層 G 1 及び第二空気層 G 2（空気間隙）の厚み d を示す。また、表 6 に全反射型偏光子 P 7 の使用波長帯域、視野角、消光比を示す。

【0102】

【表 5】

第一プリズム10			第一空気層G1	第二プリズム20			第二空気層G2	第三プリズム30		
材料	楔角度 α (°)	軸方向	厚みd(μm)	材料	楔角度 2α (°)	軸方向	厚みd(μm)	材料	楔角度 α (°)	軸方向
YVO_4	27.8	紙面に垂直	5	YVO_4	55.6	紙面に垂直	5	YVO_4	27.8	紙面に垂直

【0103】

【表 6】

使用波長帯域(nm)	視野角(°)	消光比(dB)
500～3400	± 5.5 at $\lambda=1064\text{nm}$	$\geq 50\text{dB}$

【0104】

実施例 3 の全反射型偏光子 P 7 は、波長 = 500 ~ 3400 nm の波長領域において偏光子として機能するが、レーザー耐性が高い構造であるため、視野角、収差をレーザー加工で良く用いられる波長 = 1064 nm での値を示す。40

【0105】

図 18 に示すように、実施例 3 の全反射型偏光子 P 7 は、実施例 1 や実施例 2 とは異なりコマ収差も低減し、上下左右が対称的な丸い形状のスポットになっており、スポット径も約 4 μm と小さくなっていることが分かった。

【0106】

また、図 19 に示すように、全反射型偏光子 P 7 の楔角は 27.8° であり、実施例 1 と比較して、空気間隙を挟んだ表面での反射が小さいため、反射防止膜を施さなくても、実施例 1 と比較して透過率が向上しており、ゴーストも低減している。なお、第一プリズム 10、第二プリズム 20 及び第三プリズム 30 の入射光学面や出射光学面に反射防止膜50

を施す事で、透過率の向上、ゴーストの低減が図られ、偏光子としてより良い性能を発揮させることが可能である。

【0107】

<実施例4：ダブルグラン - テーラープリズム + 収差補正板>

実施例4は、図20に示すように、実施例3のダブルグラン - テーラープリズム型の全反射型偏光子P7を2枚の収差補正板と組み合わせた構造である。図20では、集光レンズ40を配置している。

【0108】

表7に、第一プリズム10、第二プリズム20及び第三プリズム30の材料、第一プリズム10及び第三プリズム30の楔角度、第二プリズム20の楔角度(2 α)、光学軸方向(結晶軸方向)、第一空気層G1及び第二空気層G2(空気間隙)の厚みdを示す。
表8に、第一収差補正板50及び第二収差補正板52の材料、配置角、厚みを示す。なお、配置角は、入射角がその角度になるように収差補正板が配置される角度である。また、表9に実施例4の偏光子(全反射型偏光子P7を収差補正板と組み合わせた構造)の使用波長帯域、視野角、消光比を示す。

【0109】

【表7】

第一プリズム10			第一空気層G1	第二プリズム20			第二空気層G2	第三プリズム30		
材料	楔角度 α (°)	軸方向	厚みd(μm)	材料	楔角度2 α (°)	軸方向	厚みd(μm)	材料	楔角度 α (°)	軸方向
YVO4	27.8	紙面に垂直	5	YVO4	55.6	紙面に垂直	5	YVO4	27.8	紙面に垂直

【0110】

【表8】

第一収差補正板50			第二収差補正板52		
材料	配置角(°)	厚み(mm)	材料	配置角(°)	厚み(mm)
S-BSL7	27.8	0.56	S-BSL7	-27.8	0.56

【0111】

【表9】

使用波長帯域(nm)	視野角(°)	消光比(dB)
500～2500	±5.5 at $\lambda=1064\text{nm}$	≥50dB

【0112】

実施例4では、波長 = 500 ~ 2500 nmの波長領域において偏光子として機能するが、レーザー耐性が高い構造であるため、視野角、収差をレーザー加工で良く用いられる波長 = 1064 nmでの値を示す。

【0113】

10

20

30

40

50

図21に示すように、全反射型偏光子P7と2枚の収差補正板を透過した光のスポット径は約0.4μm以下であり、非常に小さいことが分かった。2枚の収差補正板により、コマ収差はそのままで非点収差を低減したためである。上述した様に、集光点の前後におけるスポットダイヤグラムからも、非点収差が減少している。

【0114】

収差補正板を用いた際の効果は大きいが、プリズムを形成する材料として、負の一軸性結晶を用いた場合や、空気間隙の厚みdが大きい場合は、収差補正板を用いても図21に示すようなスポットサイズを実現することはできなかった。全反射型偏光子P7自体の収差が小さいため、収差補正板と組み合わせることで、さらに収差を低減することが可能となった。

10

【0115】

以上のように、収差補正板の材料は、プリズムと同じである必要はない。異なる材料を用いた場合であっても、収差補正板の厚みを調整することで、収差を低減することが可能である。また、第一空気層G1や第二空気層G2の入射光線Iの光軸Xに対する傾きと、収差補正板の配置角(傾き)を一致させたが、必ずしも一致させる必要はない。例えば、収差補正板の材料や厚みを選択することで収差を小さくすることが可能である。

【0116】

実施例3において、ダブルグラン-テーラープリズムの各プリズムに反射防止膜を施すことによってゴーストの低減、透過率の向上が図られる事を説明したが、収差補正板についても同様に、反射防止膜を施す事で、透過率の向上や、収差の低減を図ることが可能である。

20

【0117】

<実施例5：グラン-テーラープリズム+収差補正板>

実施例5は、図22に示すように、実施例1のグラン-テーラープリズム型の全反射型偏光子P5を収差補正板と組み合わせた構造である。図22では、集光レンズ40を配置している。

20

【0118】

表10に、第一プリズム10及び第二プリズム20の材料、第一プリズム10及び第二プリズム20の楔角度、光学軸方向(結晶軸方向)、空気層G(空気間隙)の厚みdを示す。表11に、収差補正板54の材料、光学軸方向(結晶軸方向)、配置角、厚みを示す。なお、配置角は、入射角がその角度になるように収差補正板が配置される角度である。また、表12に実施例5の偏光子(全反射型偏光子P5を収差補正板と組み合わせた構造)の使用波長帯域、視野角、消光比を示す。

30

【0119】

【表10】

第一プリズム10			空気層G	第二プリズム20		
材料	楔角度 a(°)	軸方向	厚みd(μm)	材料	楔角度 a(°)	軸方向
YVO ₄	28.5	紙面に 垂直	5	YVO ₄	28.5	紙面に 垂直

40

【0120】

【表 1 1】

収差補正板54			
材料	軸方向	配置角(°)	厚み (mm)
YVO ₄	紙面に 垂直	28.5	0.9

【0 1 2 1】

10

【表 1 2】

使用波長帯域(nm)	視野角(°)	消光比(dB)
500～3400	-2／+4.5 at λ=1064nm	≥50dB

【0 1 2 2】

20

実施例5では、波長 = 500～3400 nmの波長領域において偏光子として機能するが、レーザー耐性が高い構造であるため、視野角、収差をレーザー加工で良く用いられる波長 = 1064 nmでの値を示す。

【0 1 2 3】

図23に示すように、全反射型偏光子P5と1枚の収差補正板を透過した光のスポット径は約1 μm程度であり、非常に小さいことが分かった。収差補正板により、非点収差を減少させ、また、コマ収差も多少軽減させた効果によるものである。集光点の前後におけるスポットダイヤグラムの形状も多少いびつであるが、丸に近い良好な形状であった。

【0 1 2 4】

実施例5では、収差補正板の材料を、プリズムと同じYVO₄としたが、実施例4でも述べた様に、目的とする波長領域で透明であれば他の材料を用いることが可能である。ただし、収差補正板の材料として一軸性結晶を用いる場合、常光線が透過するように光学軸を配置する必要がある。

【0 1 2 5】

実施例3において、ダブルグラン - テーラープリズムの各プリズムに反射防止膜を施すことによってゴーストの低減、透過率の向上が図られる事を説明したが、収差補正板についても同様に、反射防止膜を施す事で、透過率の向上や、収差の低減を図ることが可能である。

【符号の説明】

【0 1 2 6】

P 1 全反射型偏光子

40

P 2 全反射型偏光子

P 3 全反射型偏光子

1 0 第一プリズム（正の一軸性結晶）

1 2 第一入射光学面

1 4 第一出射光学面

A 1 第一光学軸

楔角度

2 0 第二プリズム（正の一軸性結晶）

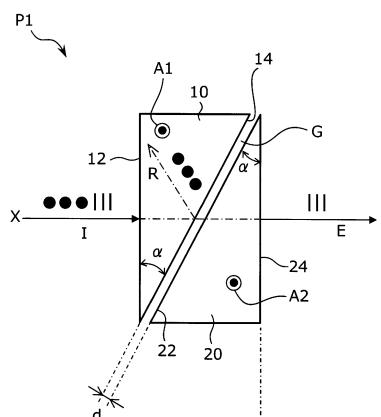
2 2 第二入射光学面

2 4 第二出射光学面

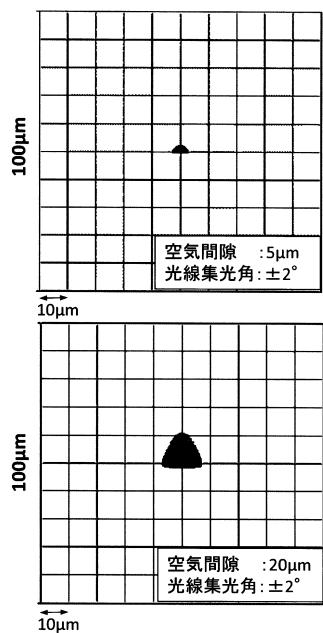
50

A 2	第二光学軸	
3 0	第三プリズム(正の一軸性結晶)	
3 2	第三入射光学面	
3 4	第三出射光学面	
A 3	第三光学軸	
4 0	集光レンズ	
5 0	第一収差補正板	10
5 2	第二収差補正板	
5 4	収差補正板	
G	空気層(薄層、空気間隙)	
G 1	第一空気層(薄層、空気間隙)	
G 2	第二空気層(薄層、空気間隙)	
d	空気層の厚み	
A R	反射防止膜	
X	光軸	
I	入射光線	
R	反射光線	
E	出射光線	

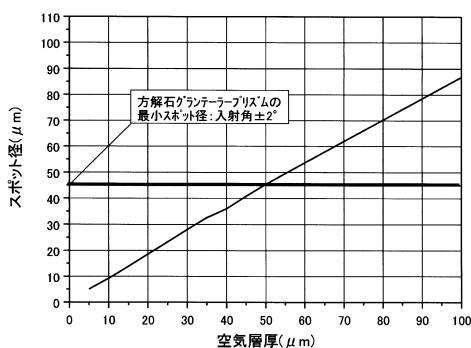
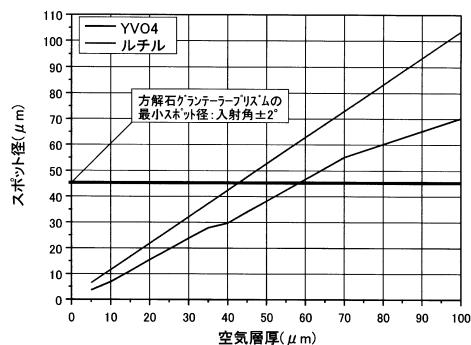
【図1】



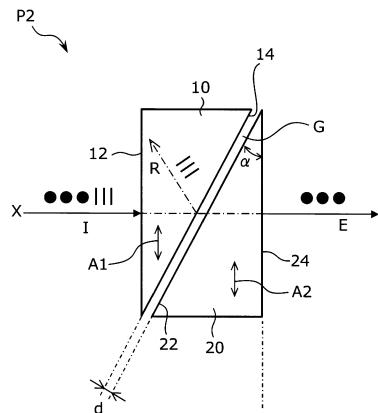
【図2】



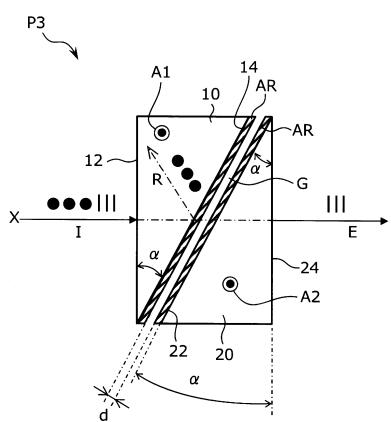
【図3】



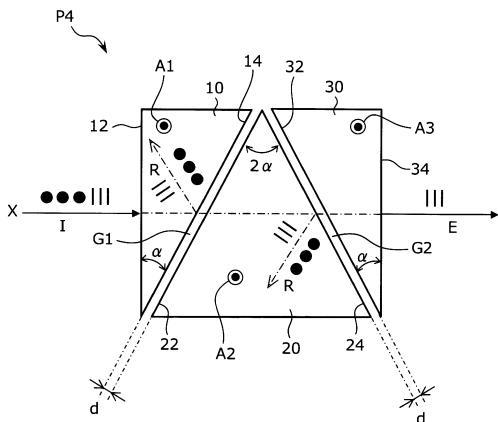
【図4】



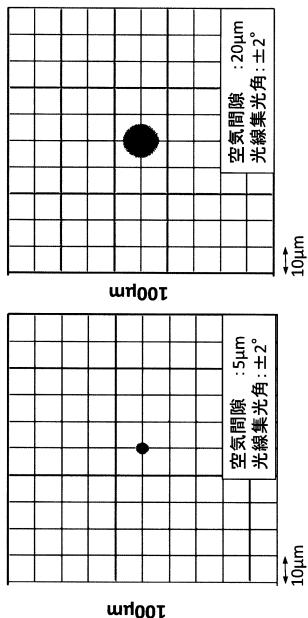
【図5】



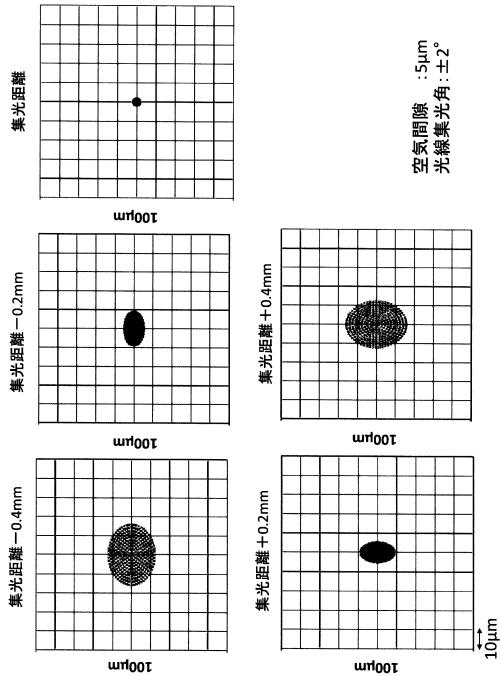
【図6】



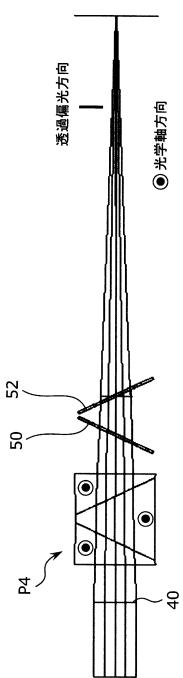
【図7】



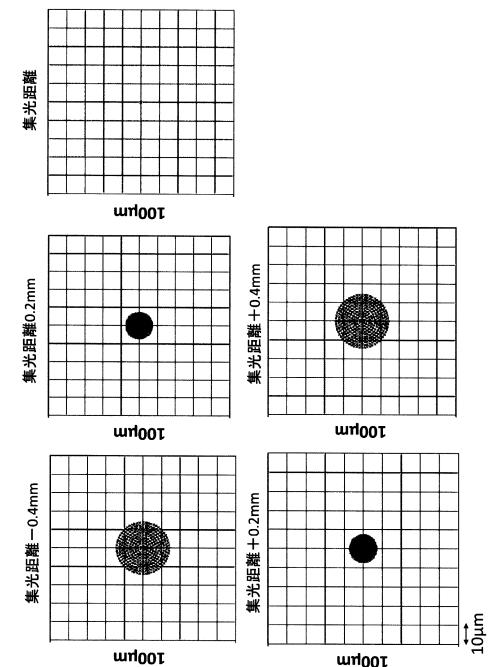
【図8】



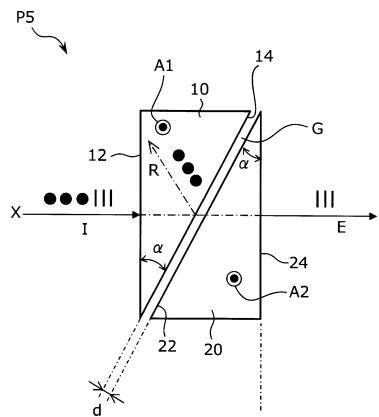
【図9】



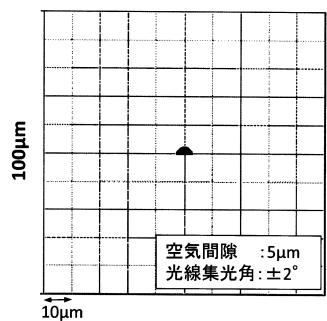
【図10】



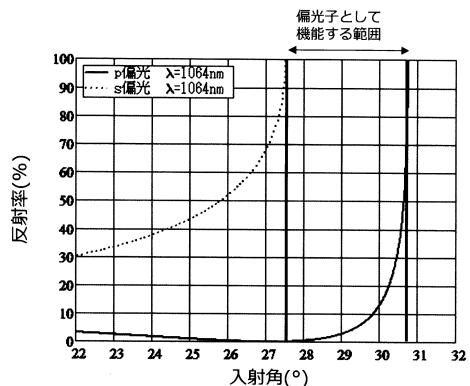
【図 1 1】



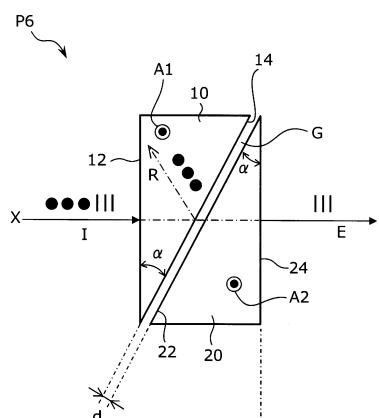
【図 1 2】



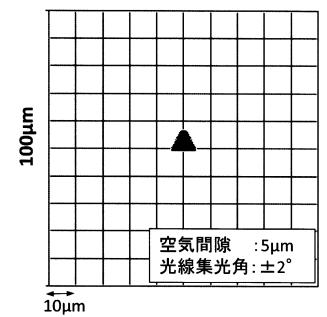
【図 1 3】



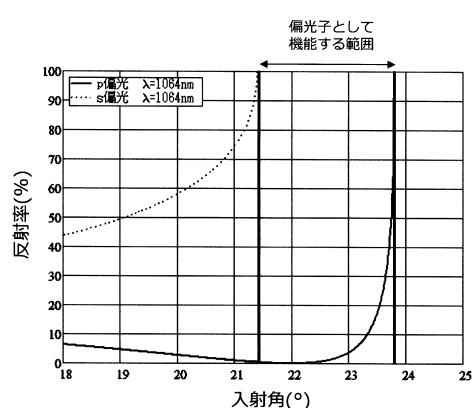
【図 1 4】



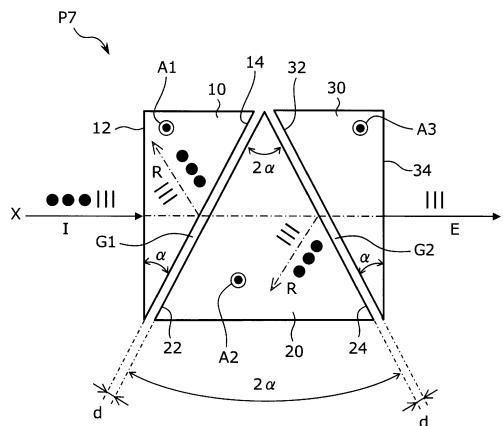
【図 1 5】



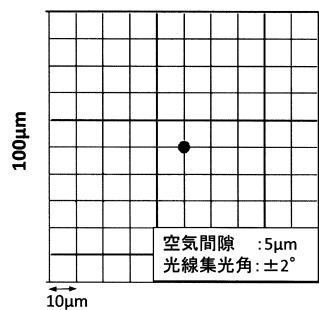
【図 1 6】



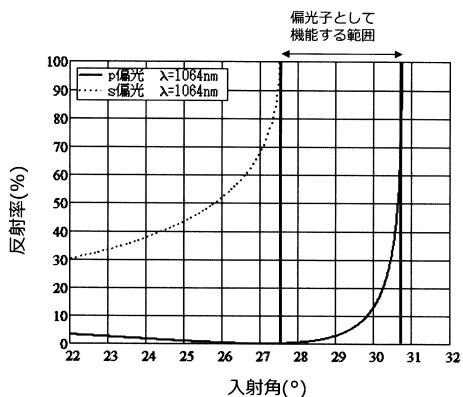
【図 1 7】



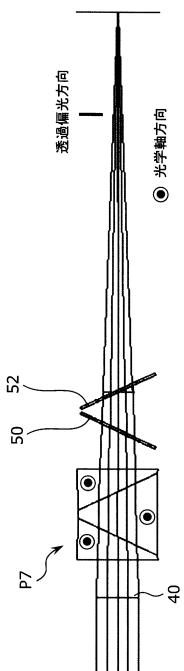
【図 1 8】



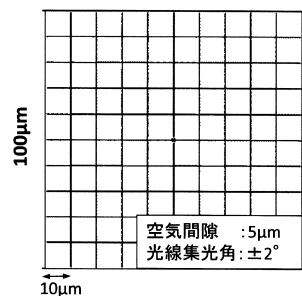
【図 1 9】



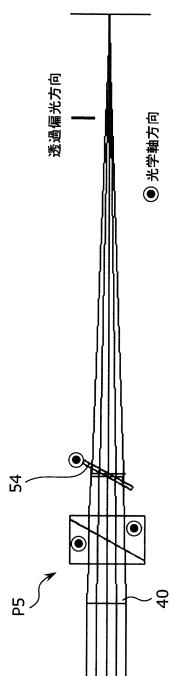
【図 2 0】



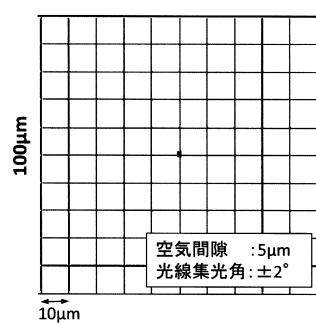
【図 2 1】



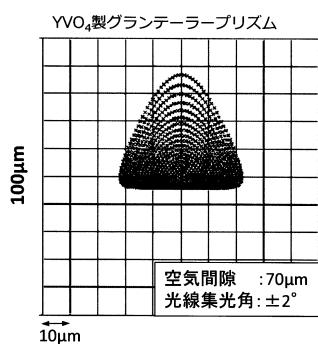
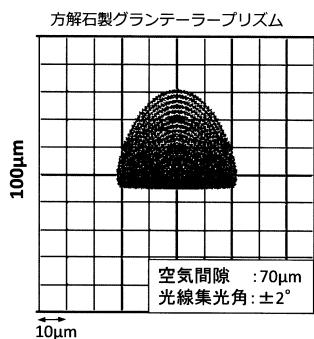
【図22】



【図23】



【図24】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2015-176050(JP,A)
特開2013-015687(JP,A)
特開2014-026148(JP,A)
特開2001-272638(JP,A)
特表2005-519326(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 B 5 / 30
G 02 B 5 / 04