

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5359397号  
(P5359397)

(45) 発行日 平成25年12月4日(2013.12.4)

(24) 登録日 平成25年9月13日(2013.9.13)

(51) Int.Cl.

F 1

G02B 5/30 (2006.01)

G02B 5/30

G02B 5/00 (2006.01)

G02B 5/00

G01M 11/02 (2006.01)

G01M 11/02

Z

B

請求項の数 5 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2009-56677(P2009-56677)

(22) 出願日 平成21年3月10日(2009.3.10)

(65) 公開番号 特開2010-210918(P2010-210918A)

(43) 公開日 平成22年9月24日(2010.9.24)

審査請求日 平成24年3月12日(2012.3.12)

(73) 特許権者 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区有楽町1丁目12番1号

(74) 代理人 100072718

弁理士 古谷 史旺

(74) 代理人 100116001

弁理士 森 俊秀

(72) 発明者 松井 良太

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

審査官 吉川 陽吾

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光学部材及び光学機器

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

遮光性を有する材料から形成され、光を通過させるピンホールを有する光学部材において、前記ピンホールは、前記光の入射側から前記光の出射側に向けて開口径が拡径される形状からなり、前記ピンホールは、入射する光が通過する際に異なる偏光間に生じる位相差を小さくすることを特徴とする光学部材。

## 【請求項2】

遮光性を有する材料から形成され、光を通過させるピンホールを有する光学部材において、前記ピンホールは、前記光の入射側から前記光の出射側に向けて開口径が階段状に拡径される形状からなり、前記ピンホールは、入射する光が通過する際に異なる偏光間に生じる位相差を小さくすることを特徴とする光学部材。

## 【請求項3】

遮光性を有する材料から形成され、光を通過させるピンホールを有する光学部材において、前記ピンホールは、前記光の入射側から前記光の出射側に向けて開口径が縮径される第1の孔と、前記光の入射面側から光の出射面側に向けて開口径が拡径される第2の孔とを

10

20

、前記第1の孔の光軸と第2の孔の光軸とが同軸となるように組み合わせた形状からなり

前記ピンホールは、入射する光が通過する際に、異なる偏光間に生じる位相差を小さくすることを特徴とする光学部材。

【請求項4】

請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の光学部材において、

前記ピンホールに入射する光は、偏光したインコヒーレント光であることを特徴とする光学部材。

【請求項5】

請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の光学部材を備えたことを特徴とする光学機器。 10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光を通過する小孔であるピンホールを有する光学部材及び光学部材を備えた光学機器に関する。 15

【背景技術】

【0002】

従来、シャック・ハルトマン法などの波面計測法において、参照球面波の生成や迷光の除去などを目的としてピンホールが使用されている。 20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献1】渋谷眞人・大木裕史、回折と結像の光学、朝倉書店(2005), p105

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

波面計測では、しばしば偏光依存性が調べられる。すなわち、互いに向きの異なる2つ以上の偏光をもつ光を測定対象に入射させ、測定対象を通過した後の波面を偏光ごとに計測して、偏光に依存した位相の変化を計測する。ピンホールは測定対象でないから、偏光に依存した位相変化を光に与えないことが望ましい。しかしながら、一般に光がピンホールを通過する際には、異なる偏光の間で位相の差が生じてしまう。 30

【0005】

本発明は、かかる従来の問題を解決するためになされたもので、光がピンホールを通過する際に異なる偏光間に生じる位相の差を低減することができるピンホールを有する光学部材及び光学機器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】

【0006】

本発明の光学部材は、遮光性を有する材料から形成され、光を通過させるピンホールを有する光学部材において、前記ピンホールは、前記光の入射側から前記光の出射側に向けて開口径が拡径される形状からなり、前記ピンホールは、入射する光が通過する際に異なる偏光間に生じる位相差を小さくすることを特徴とする。 40

本発明の光学部材は、遮光性を有する材料から形成され、光を通過させるピンホールを有する光学部材において、前記ピンホールは、前記光の入射側から前記光の出射側に向けて開口径が階段状に拡径される形状からなり、前記ピンホールは、入射する光が通過する際に異なる偏光間に生じる位相差を小さくすることを特徴とする。

本発明の光学部材は、遮光性を有する材料から形成され、光を通過させるピンホールを有する光学部材において、前記ピンホールは、前記光の入射側から前記光の出射側に向けて開口径が縮径される第1の孔と、前記光の入射面側から光の出射面側に向けて開口径が拡径される第2の孔とを、前記第1の孔の光軸と第2の孔の光軸とが同軸となるように組 50

み合わせた形状からなり、前記ピンホールは、入射する光が通過する際に、異なる偏光間に生じる位相差を小さくすることを特徴とする。

【0007】

また、本発明の光学機器は、上述したいずれかの光学部材を備えたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明では、光がピンホールを通過する際に異なる偏光間に生じる位相の差を低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

10

【図1】本発明のピンホールの第1の実施形態を示す説明図である。

【図2】図1のピンホールを拡大して示す説明図である。

【図3】ピンホールの側面形状がイメージセンサ上での光強度分布に与える影響をFDT法によって数値シミュレーションした結果を示す説明図である。

【図4】本発明のピンホールの第2の実施形態を示す説明図である。

【図5】本発明のピンホールの第3の実施形態を示す説明図である。

【図6】本発明の光学機器の第1の実施形態を示す説明図である。

【図7】本発明の光学機器の第2の実施形態を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

20

(第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態におけるピンホール部材を示している。

【0011】

ピンホール部材11は、厚みの薄い板状をしている。ピンホール部材11は、金属、シリコン等の遮光性を有する材料により形成されている。ピンホール部材11には、図2に拡大して示すように小孔からなるピンホールPH1が貫通形成されている。ピンホールPH1は、円形状をしており、側面11aの形状をテーパ状とされている。側面11aの形状は、入射光Lが通過する際に、異なる偏光間に生じる位相の差が小さくなるような形状とされている。より具体的には、側面11aの形状は、光の入射側から出射側に向けて拡径するテーパ状とされている。そして、テーパ角度θを、例えば67.5度とされている。テーパ角度θは、光軸Kに垂直な面と側面11aとのなす角度である。

30

【0012】

このようにテーパ角度θを、例えば67.5度にすることにより、ピンホールPH1を通過する際に異なる偏光間に生じる位相の差を効果的に低減することができる。

【0013】

すなわち、本発明者は、ピンホールPH1の形状を変化させることで、ピンホールPH1を通過する際に異なる偏光間に生じる位相の差を効果的に低減したいと考え、ピンホールPH1の側面11aの形状がイメージセンサ上での光強度分布に与える影響をFDTD(Finite Difference Time Domain)法によって数値シミュレーションした。

【0014】

40

シミュレーションした系は、図1のようなピンホールPH1である。図2に示すテーパ角度θが45度、67.5度、90度のいずれかの側面11aの形状をもつピンホールPH1に対し、図1に示すように様々な入射角θで光を入射させた。簡単のため、入射角θの変化の方向は1次元方向(紙面に平行な方向)のみとし、ピンホールPH1への入射前ににおける各入射開口数の光の強度は等しいとした。ただし入射開口数はNA = n × sinθで表され、nはピンホールPH1の上側の媒質mの屈折率、θは入射角である。

【0015】

それぞれの入射角θの場合にピンホールPH1を通過後の振幅と位相をシミュレーションし、位相の傾きに強度(例えば振幅の二乗)を重みとして掛け合わせたものを、イメージセンサ上での各入射角θにおける光の寄与とした。入射角θを-65度から65度まで変

50

化させたときの寄与の総和 A を、ピンホール PH 1 を通過した光量の総和 B で割った値 A / B を計算した。A / B は、各入射角 における寄与の平均としての波面の傾きであり、実際の測定においてイメージセンサ上の平均位置から算出される波面の傾きである。

#### 【 0 0 1 6 】

図 1 において入射光 L の偏光方向が紙面に垂直な場合 ( s 偏光 ) と紙面に平行な場合 ( p 偏光 ) とでそれぞれ波面の傾きを計算し、その差 ( 偏光差 ) をとった。ただし、 s 偏光の位相が p 偏光のそれよりも遅れている場合を正とした。この偏光差がピンホール PH 1 を通過する際に異なる偏光間に生じる位相の差である。

#### 【 0 0 1 7 】

シミュレーションは、入射光 L の波長を 193 nm 、ピンホール PH 1 の直径 ( 最小部 ) を 386 nm 、ピンホール PH 1 の厚さ ( ピンホール部材 11 の肉厚 ) を 200 nm とし、ピンホール PH 1 の複素屈折率を 2.2 + 1.2 i 、ピンホール PH 1 の上側の媒質 m の屈折率 n を 1.44 、ピンホール PH 1 の下側の媒質 m' の屈折率 n' を 1.56 として行った。

#### 【 0 0 1 8 】

図 3 はシミュレーション結果を示している。縦軸は偏光差、横軸は回折角 ' である。縦軸には任意単位がとられている。曲線 a 、 b , c はテーパ角度 ' が 90 度、 67.5 度、 45 度の場合の偏光差を示している。テーパ角度 ' が 67.5 度の場合には、テーパ角度 ' が 90 度、 45 度の場合に比較して偏光差が大きく低減しているのがわかる。

#### 【 0 0 1 9 】

ピンホール PH 1 を通過する光の偏光差がピンホール PH 1 の形状に依存するのは、偏光差がピンホール PH 1 による光の回折現象に由来しているためである。ピンホール PH 1 の形状を変化させることで光の回折の仕方が変化し、ピンホール PH 1 との相互作用を通して光が受ける、偏光に依存した位相差が変化する。従って、ピンホール PH 1 の形状を適切に設定することで、ピンホール PH 1 を通過する光の偏光に依存した位相差を低減することができる。この実施形態のピンホール PH 1 では、テーパ角度 ' を、例えば 67.5 度に設定することにより、光がピンホール PH 1 を通過する際に異なる偏光間に生じる位相の差を効果的に低減することができる。

#### 【 0 0 2 0 】

( 第 2 の実施形態 )

図 4 は、本発明の第 2 の実施形態におけるピンホール部材の要部を示している。

#### 【 0 0 2 1 】

ピンホール部材 11 A には、小孔からなるピンホール PH 2 が貫通形成されている。ピンホール PH 2 は、円形状をしており、側面 11 b の形状が階段テーパ状とされている。側面 11 b の形状は、入射光 L が通過する際に、その光の偏光に依存して光に生じる位相変化が小さくなるような形状とされている。側面 11 b の形状は、光の入射側から出射側に向けて階段状に拡径するテーパ状とされている。階段の一級の大きさ ( 高さ A および幅 B ) は、測定に用いる光の波長の十分の一程度以下の大きさとされている。このような大きさの場合には、第 1 の実施形態のピンホール PH 1 と略同様の特性をもつことになる。なお、階段の数は、図 4 では説明のために 4 段としているが、ピンホール部材 11 A の厚さを変えずに階段の数を増やすことで、第 1 の実施形態のピンホール PH 1 により近い特性を得ることができる。

#### 【 0 0 2 2 】

この実施形態では、ピンホール PH 2 を階段状にしたので、例えばシリコンからなるピンホール部材 11 A にエッチングによりピンホール PH 2 を形成する場合には、エッチングを段階的に行ってピンホール PH 2 を形成することが可能になり製造を容易なものにすることができる。すなわち、階段状の構造の方が、滑らかなテーパ状の構造よりも作製が容易な場合には、階段状の構造を用いると良い。

#### 【 0 0 2 3 】

( 第 2 の実施形態 )

10

20

30

40

50

図5は、本発明の第3の実施形態におけるピンホール部材の要部を示している。

#### 【0024】

ピンホール部材11Bには、小孔からなるピンホールPH3が貫通形成されている。ピンホールPH3は、光の入射側に形成される第1の側面11cと、出射側に形成される第2の側面11dとを有している。第1の側面11cと第2の側面11dとは円形状をしており同一の軸線上に形成されている。第1の側面11cとの下端と第2の側面11dの上端とは、同一の大きさを有している。第2の側面11dは第1の実施形態のピンホールPH1の側面11aと同様の形状をしており、例えばテーパ角度を67.5度とされている。第1の側面11cは、光の入射側から出射側に向けて縮径するテーパ状とされている。

#### 【0025】

この実施形態では、ピンホール部材11Bの入射側に第1の側面11cを形成したので、ピンホール部材11Bの厚みが大きい場合にも、第2の側面11dの形状を容易、確実に形成することができる。また、ピンホール部材11Bの入射側に形成される第1の側面11cと、出射側に形成される第2の側面11dによりピンホールPH3を形成したので、偏光差を低減するための設計の自由度を増大することができる。

#### 【0026】

##### (第4の実施形態)

図6は、本発明の光学機器の第1の実施形態である波面計測器を示している。この波面計測器は、シャック・ハルトマン法によって波面計測を行う。

#### 【0027】

波面計測器は、インコヒーレント光源13、レンズ15、第1のピンホール部材17、レンズ19、位相物体21、レンズ23、第2のピンホール部材25、コリメータ27、レンズアレイ29、イメージセンサ31を有している。第1のピンホール部材17および第2のピンホール部材25には、第1の実施形態で述べた例えばテーパ角度が37.5度のピンホールPH1が形成されている。

#### 【0028】

この波面計測器では、インコヒーレント光源13から出た光がレンズ15を経て第1のピンホール部材17を照明し、第1のピンホール部材17を通過した光が計測用の参照球面波となる。この参照球面波はレンズ19によってコリメートされて位相物体21に入射する。位相物体21は光の位相を変化させる。位相物体21を通過した光は、レンズ23によって集光されて第2のピンホール部材25を通過し、コリメータ27とレンズアレイ29とを経てイメージセンサ31上に光強度分布をつくる。

#### 【0029】

図6で、第1のピンホール部材17、第2のピンホール部材25とが共役の関係にあり、位相物体21とレンズアレイ29とが共役の関係にある。位相物体21を通過後の波面は、レンズアレイ29において倒立像として再生され、その波面の傾きがレンズアレイ29によってイメージセンサ31上の位置に変換される。

#### 【0030】

この波面計測器において、第1のピンホール部材17と第2のピンホール部材25はともに通過する光に対して異なる偏光間での位相の差を生じさせる。しかしながら、第1のピンホール部材17と第2のピンホール部材25には、第1の実施形態で述べた例えばテーパ角度が37.5度のピンホールPH1が形成されているため、ピンホールPH1を通過する異なる偏光間に生じる位相の差が非常に小さなものになる。従って、位相物体21を通過する異なる偏光間に生じる位相の差を精度良く求めることができる。

#### 【0031】

すなわち、シャック・ハルトマン法などの波面計測法では、波面の傾きをイメージセンサ31上の位置に変換する光学系を用い、イメージセンサ31上の光強度分布を計測する。そして、この光強度分布の平均(重心)位置から波面の傾きの量を算出する。光はピンホールPH1を通過する際にその偏光に依存した位相の変化を受けるため、イメージセンサ31上の光強度分布はピンホールPH1による偏光依存性をもつ。特に、ピンホー

10

20

30

40

50

ル P H 1 に入射する光がインコヒーレントである場合には、様々な入射角による寄与がイメージセンサ 3 1 上でインコヒーレントに加算されて計測される。この状況のもとで波面の異なる偏光間での位相の差（偏光差）を計測する場合には、測定対象による偏光差とピンホールによる偏光差とが足し合わさったものが計測されるため、測定対象による偏光差を精度良く計測できない。しかしながら、本発明の波面計測器では、ピンホール P H 1 を通過する光に生じる偏光差を小さなものにすることが可能であり、これにより波面の偏光差の計測を精度良く行うことが可能になる。

#### 【 0 0 3 2 】

##### (第 5 の実施形態)

図 7 は、本発明の光学機器の第 2 の実施形態である波面計測器を示している。この波面計測器は、シャック・ハルトマン法によって波面計測を行う。なお、この実施形態において第 4 の実施形態と同一の要素には同一の符号を付して詳細な説明を省略する。

10

#### 【 0 0 3 3 】

この実施形態では、第 4 の実施形態のレンズ 1 9、位相物体 2 1、レンズ 2 3 に代えて、被検査物となるレンズ 3 5 が配置される。この波面計測器では、被検査物であるレンズ 3 5 のもつ波面収差が計測される。なお、レンズ 3 5 は組み合わせレンズでも良い。

#### 【 0 0 3 4 】

この実施形態では、第 1 のピンホール部材 1 7 および第 2 のピンホール部材 2 5 のピンホール P H 1 を通過する異なる偏光間に生じる位相の差が非常に小さなものになる。従って、被検査物であるレンズ 3 5 を通過することで異なる偏光間に生じる位相の差を精度良く求めることができる。

20

#### 【 0 0 3 5 】

##### (実施形態の補足事項)

以上、本発明を上述した実施形態によって説明してきたが、本発明の技術的範囲は上述した実施形態に限定されるものではなく、例えば、以下のような形態でも良い。

#### 【 0 0 3 6 】

(1) 上述した実施形態では、波面計測器からなる光学機器に本発明を適用した例について説明したが、例えば顕微鏡等の光学機器にも広く適用することができる。

#### 【 0 0 3 7 】

(2) 上述した実施形態では、独立した部材であるピンホール部材 1 1 , 1 1 A , 1 1 B に本発明のピンホール P H 1 、 P H 2 、 P H 3 を形成した例について説明したが、光学機器を構成する構造部材等に形成されるピンホールにも広く適用することができる。

30

#### 【 0 0 3 8 】

(3) 上述した第 4 および第 5 の実施形態では、第 1 のピンホール部材 1 7 および第 2 のピンホール部材 2 5 のピンホールに本発明のピンホールを適用した例について説明したが、いずれか一方のピンホール部材にのみ本発明のピンホールを適用するようにしても良い。

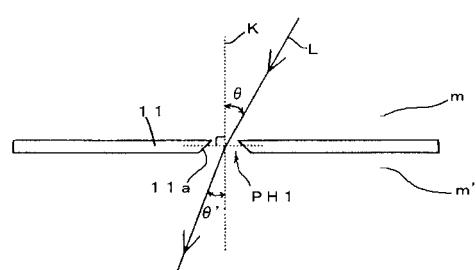
#### 【 符号の説明 】

#### 【 0 0 3 9 】

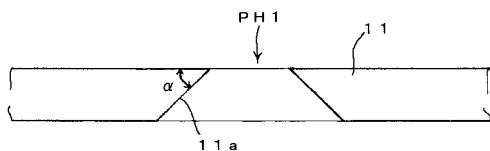
1 1 , 1 1 A , 1 1 B ... ピンホール部材、 1 1 a , 1 1 b ... 側面、 1 1 c ... 第 1 の側面  
、 1 1 d ... 第 2 の側面、 P H 1 , P H 2 , P H 3 ... ピンホール。

40

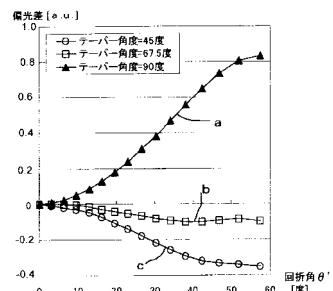
【図1】



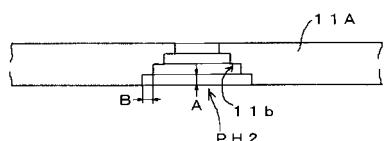
【図2】



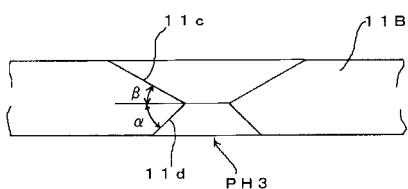
【図3】



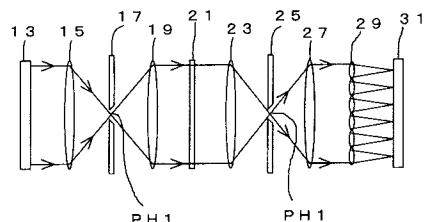
【図4】



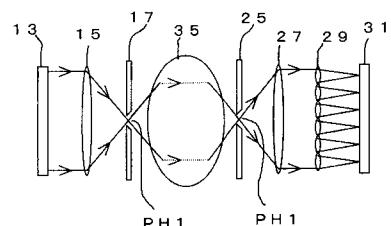
【図5】



【図6】



【図7】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2000-156537(JP,A)  
特開2004-012767(JP,A)  
特開2007-198896(JP,A)  
特開2004-354566(JP,A)  
特開2005-241603(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 5/00, 5/30