

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4545859号  
(P4545859)

(45) 発行日 平成22年9月15日(2010.9.15)

(24) 登録日 平成22年7月9日(2010.7.9)

(51) Int.Cl.

G02B 27/46 (2006.01)

F 1

G02B 27/46

請求項の数 2 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平11-330178  
 (22) 出願日 平成11年11月19日(1999.11.19)  
 (65) 公開番号 特開2001-147404(P2001-147404A)  
 (43) 公開日 平成13年5月29日(2001.5.29)  
 審査請求日 平成18年11月16日(2006.11.16)

(73) 特許権者 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 100096965  
 弁理士 内尾 裕一  
 (72) 発明者 早川 慎吾  
 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

審査官 吉田 英一

(56) 参考文献 特開平03-103820 (JP, A)

(58) 調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G02B 27/46

(54) 【発明の名称】撮像装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

常光線と異常光線の屈折率差が0.02以上であるニオブ酸リチウムの一軸性単結晶の複屈折板を有する光学ローパスフィルタと、長方形の撮像面を有する撮像素子とを備える撮像装置であって、前記複屈折板は前記撮像面の長辺方向に被写体像を分離させると共に、前記複屈折板の一軸性単結晶の光学軸と前記複屈折板の面法線のなす角を、前記撮像面の長辺方向の画素ピッチをp、前記複屈折板の厚さをdとするとき、

$$\begin{array}{ll} 10^\circ < \frac{\text{常光線の屈折角}}{\text{異常光線の屈折角}} < 30^\circ & \dots (1) \\ 60^\circ < \frac{\text{常光線の屈折角}}{\text{異常光線の屈折角}} < 80^\circ & \dots (2) \end{array}$$

のいずれか一方の条件式と、

$$0.012 < \frac{p}{d} < 0.033 \dots (3)$$

なる条件式を満足することを特徴とする撮像装置。

## 【請求項 2】

前記光学ローパスフィルタは、一軸性単結晶の複屈折板を複数枚接合すると共に、各複屈折板の一軸性単結晶の光学軸の各複屈折板の面への正射影が互いに異なる方向を向くように構成されていることを特徴とする請求項1に記載の撮像装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は撮像装置に関し、特にCCD、MOS等の2次元の固体撮像素子を使用するデ

10

20

ジタルスチルカメラやビデオカメラに関するものである。

**【0002】**

**【従来の技術】**

C C D、M O S等の2次元の固体撮像素子を使用するデジタルスチルカメラやビデオカメラ等の撮像装置においては、被写体像を画素ピッチ毎にサンプリングするために、空間周波数の高い成分を持った被写体の撮影時には、高周波数成分の折り返し像が低周波数成分として出力される偽解像信号が発生し、被写体像の解像度を低下させる要因となっている。また、単板式のカラー固体撮像素子を使用する撮像装置においても同様に、空間周波数の高い成分を持った被写体の撮影時には、各画素の前方に配置されるカラーフィルターの配列によって決まる偽色信号が発生し、被写体像の色再現性を低下させる要因となっている。10

**【0003】**

このような被写体像の高周波数成分による偽解像信号や偽色信号を低減させる目的で、従来より各種の光学ローパスフィルタが提案されている。その中で最も代表的な手法は、水晶の単結晶の平行平板を用いる方法である。入射面の法線と結晶の光学軸（Z軸）を所定角度だけ傾けて配置すると、一軸性結晶である水晶の平行平板に入射した光線は、Z軸の方向に異方性を示し常光線と異常光線に分離して、分離した光線が平行に平行平板から射出する。このとき常光線と異常光線の分離巾は、平行平板の入射面の法線と結晶のZ軸のなす角と平行平板の厚さによって決定される。20

**【0004】**

このような水晶の作用を利用した光学ローパスフィルタの従来例として、例えば実公昭47-18688号公報、実公昭47-18689号公報、特開昭59-75222号公報、特開昭60-164719号公報等が知られている。20

**【0005】**

実公昭47-18688号公報、実公昭47-18689号公報では、カラーフィルタとしてストライプ状のフィルタを想定し、被写体の空間周波数がこのカラーフィルタと同期性を持ったときに発生する偽色信号を低減させるため、水晶等の複屈折性を有する平行平板によって光線を常光線と異常光線に分離して撮像面上に結像させる構成を開示している。特に実公昭47-18689号公報においては、水晶の単結晶をその光学軸（Z軸）が平行平板の入出射面に対して約45°の角度をなすように切り出して使用する構成を開示している。30

**【0006】**

また、特開昭59-75222号公報、特開昭60-164719号公報においては、カラーフィルタとして例えば図5に示すようなベイヤー配列のフィルタを想定し、複数枚の複屈折板を組み合わせることによって光線を常光線と異常光線に分離して被写体像を所定ピッチだけずれた複数の像に分離させて結像させ、被写体の高周波数成分によって発生する偽解像信号や偽色信号の発生を効果的に低減させる構成を開示している。

**【0007】**

また、複屈折板として水晶以外の単結晶板を使用する例が、特開平9-211222号公報、特開平11-218612号公報等に開示されている。特開平9-211222号公報、特開平11-218612号公報では、複数枚の複屈折板を使用し、その中の少なくとも1枚にニオブ酸リチウムを用いた光学ローパスフィルタを提案している。ニオブ酸リチウムの単結晶は水晶の単結晶と同様に一軸性の結晶であるが、常光線の屈折率と異常光線の屈折率の差が水晶よりも大きいため、所定の光線の分離巾を得るために必要な複屈折板の厚さを薄くすることができるという特徴がある。40

**【0008】**

**【発明が解決しようとする課題】**

水晶の複屈折板を1枚または複数枚組合せて光学ローパスフィルタとして使用する従来例では、常光線と異常光線の屈折率差が小さいため、光線の分離巾を所定量確保するためには、複屈折板の厚さをある程度以上厚くする必要があった。50

**【 0 0 0 9 】**

一般に、一軸性結晶の平行平板をその入射面の法線と光学軸（Z軸）のなす角が $\theta$ となるように作成したとき、円偏光の光が垂直に入射する場合の平行平板中の常光線の進行方向と異常光線の進行方向のなす角 $\phi$ は、次式によって表わされる。

**【 0 0 1 0 】**

$$\tan \phi = (\frac{n_o^2 - n_e^2}{n_o^2 + n_e^2}) \sin \theta / (\frac{n_e^2 \cos^2 \theta}{n_o^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_o^2}) \quad \dots (4)$$

**【 0 0 1 1 】**

式(4)は、複屈折板の単位厚さあたりの常光線と異常光線の分離巾を表わしており、 $n_o = 1.544$ 、 $n_e = 1.553$ とすれば、 $\phi = 45^\circ$ のとき $\tan \phi = 0.0058$ となる。

10

**【 0 0 1 2 】**

ここで、固体撮像素子の長辺方向の画素ピッチ $P_h$ が $10\text{ }\mu\text{m}$ であるとして、この方向に発生する偽解像信号を除去するために水晶の複屈折板によって異常光線をこの方向に $10\text{ }\mu\text{m}$ ずらすように構成することを想定すると、上述したように水晶単結晶では $\tan \phi = 0.0058$ であるから、複屈折板の厚さ $d$ は少なくとも約 $1.7\text{ mm}$ も必要となる。このように、常光線と異常光線の屈折率差が小さい水晶を複屈折板として用いると光学ローパスフィルタが厚くなり、光学系が大型化してしまうという問題がある。

**【 0 0 1 3 】**

更に、撮影光学系の光路中に平行平板が存在する場合には、スペース的な問題の他にも以下に説明するような問題も含んでいる。

20

**【 0 0 1 4 】**

理想レンズによって結像され平行平板を通過する光線は、平行平板への入射角 $\alpha$ に応じて周知のスネルの屈折則に従った屈折角で屈折して入射光線と平行に射出する。理想レンズの予定焦点面は、平行平板中の光路長を $s_i n$ の近似を使用する近軸理論によって決定され、平行平板の板厚 $d$ と屈折率 $N$ を用いて表わされる空気換算光路長 $d/N$ によって置換した分だけ光軸方向にずらした位置に設定される。しかしながら、平行平板へ入射する光線の入射角が大きくなつて $s_i n$ とする近似が実状と合わなくなると、理想レンズから射出する光線は予定結像面上では結像しなくなる。具体的には、光軸上では球面収差がオーバーとなり、軸外ではサジタル像面に対してメリディオナル像面がよりオーバーとなる非点収差が発生する。

30

**【 0 0 1 5 】**

図10はこのような現象を説明するための説明図であり、理想像面から $50\text{ mm}$ 離れた位置に $F=2.0\text{ mm}$ の射出瞳を持つ理想レンズを配置し、理想像面との間に光軸と垂直な入出射面を持った厚さ $5\text{ mm}$ の平行平板より成る水晶の複屈折板を配置した場合の複屈折板で発生する光線収差を示した図である。図10(a)において、41は焦点距離 $50\text{ mm}$ の理想レンズ、42は厚さ $5\text{ mm}$ の水晶の複屈折板、43は近軸計算上の予定焦点面である。また、44は像高 $0\text{ mm}$ の像面近傍、45は像高 $20\text{ mm}$ の像面近傍を表わしている。

**【 0 0 1 6 】**

理想レンズ41によって結像され平行平板42を通過した光線は、図10(a)に示されるように予定焦点面43の近傍に結像するべく進行する。しかしながらその像面近傍44及び45を拡大すると、それぞれ図10(b)及び図10(c)に示されるようになる。すなわち像高 $0\text{ mm}$ における最良像面位置は46、像高 $20\text{ mm}$ における最良像面位置は47に示される位置となって、画面中央では球面収差がオーバーとなり、また画面周辺では特にメリディオナル像面でオーバーとなる非点収差が発生する。

40

**【 0 0 1 7 】**

このように、撮影光学系とその予定焦点面の間に平行平板を挿入すると、上述したような光線収差が発生するという性質がある。そこで、水晶の複屈折板等の平行平板を配置することを前提とした撮影光学系では、この平行平板で発生する収差を加味した上で撮影光学系を設計することが一般に行われている。しかしながら、撮影光学系として種々の交換レ

50

ンズ、特に銀塩カメラ用に完備された交換レンズシステムを撮影光学系として活用できるように、撮影光学系を交換可能に構成した撮像装置（例えば一眼レフックスタイプのデジタルスチルカメラ等）においては、もちろんこのような対応はできない。

#### 【0018】

ところで、水晶と同様の一軸性結晶であるニオブ酸リチウムの単結晶において、d線に対する常光線の屈折率 $n_o = 2.300$ 、異常光線の屈折率 $n_e = 2.215$ とすれば、 $= 45^\circ$ のとき $\tan 0.0376$ となる。

#### 【0019】

ここで、水晶の場合と同様、固体撮像素子の長辺方向の画素ピッチ $P_h$ が $10 \mu m$ であるとして、この方向に発生する偽解像信号を除去するためにニオブ酸リチウムの複屈折板によって異常光線をこの方向に $10 \mu m$ ずらすように構成することを想定すると、ニオブ酸リチウム単結晶は $\tan 0.0376$ であるから、複屈折板の厚さ $d$ は約 $0.27 m$ で良いことが分かる。前述の水晶単結晶を用いた場合と比較すれば、複屈折板の厚さを約 $0.16$ 倍に薄くすることができ、ニオブ酸リチウムの複屈折板を光学ローパスフィルタとして撮像系に適用すれば、スペース上の問題を解決してより小型の撮像系を実現すると共に、平行平板によって発生する光線収差の問題を低減させることも可能となる。

#### 【0020】

前述の特開平9-211222号公報、特開平11-218612号公報は、ニオブ酸リチウムの単結晶のこのような性質に着目したものである。

#### 【0021】

ここで、画素ピッチ $10 \mu$ 、アスペクト比が $2:3$ で、 $250$ 万画素程度の有効画素数を持った2次元固体撮像素子を用いる撮像装置を想定すると、水平方向の画素数は $1950$ 画素程度、垂直方向の画素数は $1300$ 画素程度となり、固体撮像素子の有効画素の占める大きさは、水平方向で $19.5 mm$ 程度、垂直方向で $13.0 mm$ 程度となる。このような固体撮像素子の前方（被写体側）に平行平板より成る光学ローパスフィルタを比較的近接させて配置することを考えると、平行平板の大きさは、固体撮像素子に入射する光線の立体角を考慮した光線有効領域とこの平行平板そのものの保持のための領域を加算して、少なくとも水平方向に $21.0 mm$ 程度、垂直方向に $14.5 mm$ 程度とすることが必要となる。

#### 【0022】

一方、水平方向に画素ピッチ $10 \mu$ だけ異常光線を分離させたい場合に、ニオブ酸リチウムの単結晶の光学軸（Z軸）と平行平板の入射面の法線のなす角 $\theta$ が $45^\circ$ となるように構成すると、前述したように平行平板の厚さは約 $0.27 mm$ となる。また、実公昭47-18688号公報に開示されるように、画素ピッチの $1/2$ の周波数成分による偽信号の影響を除去することを考慮して画面の水平線に対して約 $45^\circ$ の角度をなす方向に異常光線を分離させる平行平板を併用しようとすると、この平行平板の厚さは約 $0.19 mm$ となる。このような平行平板の厚さは、上述の外形寸法で決定される対角長と比較すると、およそ $1\%$ 程度かそれ以下となって機械強度が不足し、非常に割れやすくなる。すなわち、常光線と異常光線の屈折率差が大きいニオブ酸リチウムを複屈折板として単純に用いても、非常に薄く研磨する必要があるため平行平板そのものを製造することが困難であると共に、製造時や製造後の取り扱いの上で不用意に割れてしまいやすいという問題があった。

#### 【0023】

前述の特開平9-211222号公報、特開平11-218612号公報では、ニオブ酸リチウムと水晶を接合した光学ローパスフィルタの構成を提案している。これらの従来例は、全てを水晶で構成した光学ローパスフィルタに比べて薄くすることが可能であるが、上述のスペース上の問題と撮影光学系の光学性能上の問題の解決には、未だ不十分であった。

#### 【0024】

本発明は、複屈折板の厚さが適切になるよう結晶の光学軸と入射面の法線の関係を適切

10

20

30

40

50

に設定することで、光学性能上、また機械加工上における不具合を除去した光学ローパスフィルタを備える撮像装置を提供することを目的としている。

### 【0025】

#### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明の撮像装置は、常光線と異常光線の屈折率差が0.02以上であるニオブ酸リチウムの一軸性単結晶の複屈折板を有する光学ローパスフィルタと、長方形の撮像面を有する像素子とを備える撮像装置であって、前記複屈折板は前記撮像面の長辺方向に被写体像を分離させると共に、前記複屈折板の一軸性単結晶の光学軸と前記複屈折板の面法線のなす角を $\theta$ 、前記撮像面の長辺方向の画素ピッチを $p$ 、前記複屈折板の厚さを $d$ とするとき、

$$\begin{array}{l} 10^\circ < \theta < 30^\circ \\ 60^\circ < \theta < 80^\circ \end{array} \quad \dots (1) \quad \dots (2)$$

のいずれか一方の条件式と、

$$0.012 < p/d < 0.033 \quad \dots (3)$$

なる条件式を満足することを特徴としている。

### 【0029】

#### 【発明の実施の形態】

まず、本発明の実施形態の概略について説明する。

### 【0030】

本実施形態の光学ローパスフィルタは、CCD、MOS等の固体像素子と撮影光学系の間の光路中に配置された複屈折板よりなる光学ローパスフィルタであって、複屈折板をニオブ酸リチウム等の水晶と比較して常光線と異常光線の屈折率差が大きい一軸性単結晶で構成するとともに、結晶の光学軸(Z軸)と複屈折板の入射面の法線とのなす角を $\theta$ としたとき、

$$\begin{array}{l} 10^\circ < \theta < 30^\circ \\ 60^\circ < \theta < 80^\circ \end{array} \quad \dots (1) \quad \dots (2)$$

なる条件式のいずれか一方を満足するようにしたものである。

### 【0031】

本実施形態では、このように複屈折板を構成する一軸性単結晶のZ軸と入射面の法線のなす角を適切に設定することにより、複屈折板としての平行平板の厚さを機械加工上問題なく加工できる適切な厚さと共に、機械的な強度を確保している。更に水晶を用いた場合に比べて十分に複屈折板を薄くできるので、スペース効率が良く、かつ平行平板を挿入することによって発生する光線収差を十分に少なくすることができ、銀塩カメラ用に準備された交換レンズを撮影光学系として使用する撮像装置において特に好適な光学ローパスフィルタを実現することができる。

### 【0032】

条件式(1)及び(2)は、本発明の光学ローパスフィルタの構成の特徴を数値化したものであり、ニオブ酸リチウム等の水晶と比較して常光線と異常光線の屈折率差が大きい一軸性単結晶のZ軸と複屈折板の入射面の法線とのなす角 $\theta$ の最適な設定範囲を表わす式である。条件式(1)及び(2)で特定される範囲は、複屈折板の単位厚さあたりの常光線と異常光線の分離巾を表わす前述の式(4)の関係を示した図1の斜線部で表される領域であり、条件式(1)又は(2)を満足するような角度に設定すると、 $\theta = 45^\circ$ に設定したときと比べて複屈折板を厚くすることができる。

### 【0033】

条件式(1)の上限値を超えるか、あるいは条件式(2)の下限値を超えて $\theta$ の値が $45^\circ$ に近づくと、 $\theta = 45^\circ$ に設定したものとの実質的な差が小さくなり、複屈折板が薄くなつて機械強度が不足してしまう。逆に条件式(1)の下限値を超えて $\theta$ の値が $0^\circ$ に近づくか、あるいは条件式(2)の上限値を超えて $\theta$ の値が $180^\circ$ に近づくと、単結晶のZ軸と平行平板の入射面の法線とのなす角の変化に対する光線の分離巾の変化が大きくなつて、所望の分離巾を得ることのできる複屈折板としての平行平板の安定的な加工が困難

10

20

30

40

50

となる。

**【0034】**

の値が条件式(1)及び(2)で規定した範囲を満足する角度になるよう、ニオブ酸リチウムで平行平板を形成したときには、例えば  $\theta = 70^\circ$  となるように設定したときには、この平行平板による常光線と異常光線の分離巾は、平行平板 1 mmあたり 0.0235 mm となる。したがって、 $10 \mu m$  の分離巾を得るために必要な平行平板の厚さは約 0.43 mm となる。これは  $\theta = 45^\circ$  の場合と比較して約 1.6 倍厚くなることになり、機械強度上、そして機械加工上の問題点を解決することが可能となる。また  $\theta = 45^\circ$  の水晶を用いた場合と比較しても、平行平板の厚さは約 0.25 倍で十分に薄くなっているので、光学ローパスフィルタを光路中に挿入したことによる光学性能への悪影響を最小限に抑えることができる。10

**【0035】**

なお、複数枚の複屈折板を接合して光学ローパスフィルタを構成し、複数枚の複屈折板の各々の Z 軸の入射面への正射影が互いに異なる方向に向くように設定するとより実用的になつて望ましい。

**【0036】**

これは、ニオブ酸リチウム等の単結晶より成る平行平板は、その単結晶の性質から所定方向にへき開を起こしやすいため单板では扱い難いからである。そこで、上述したように単結晶の Z 軸の入射面への正射影が互いに異なる方向に向くよう複数枚の複屈折板を接合すれば、割れ難くなり取り扱いが容易となる。もちろん、この単結晶の Z 軸の入射面への正射影は異常光線の分離方向と一致しており、この光線の分離を利用して固体撮像素子の画素ピッチ毎のサンプリングによって発生する偽解像信号と偽色信号を、水平及び垂直の両方向に対して適切に低減させるように構成することが望ましい。20

**【0037】**

また光学ローパスフィルタを複数枚の複屈折板で構成するに際しては、単結晶の Z 軸の入射面への正射影が、固体撮像素子の略長辺方向を向いた第 1 の複屈折板と、固体撮像素子の長辺方向と略  $45^\circ$  の角度の角度をなす方向を向いた第 2 の複屈折板の 2 枚の複屈折板を含むように構成することが望ましい。

**【0038】**

固体撮像素子の画素ピッチ毎のサンプリングに起因する偽解像信号と偽色信号の発生の仕方は画素の配列によっても異なるが、最も一般的な略正方形の開口の画素が水平方向及び垂直方向に配列された 2 次元の固体撮像素子では、水平方向、垂直方向、及び斜め  $45^\circ$  方向の高周波数成分によって発生するものが目立ちやすい。そこで、これらの偽解像信号と偽色信号を効率的に低減させるためには、光学ローパスフィルタを少なくとも略水平方向と略斜め  $45^\circ$  方向への像の分離を発生させるように構成することが望ましい。30

**【0039】**

また、本実施形態の光学ローパスフィルタは、撮像素子の保護板として用いることもできる。例えば、撮像部をパッケージの内部に封入して撮像ユニットを構成するタイプの固体撮像素子では、パッケージの前面に本実施形態の光学ローパスフィルタを接合することで撮像部を保護する構成とすることができる。また、撮像部を基板上に接着して撮像ユニットを構成するタイプの固体撮像素子では、撮像部を配設した基板の前面に本実施形態の光学ローパスフィルタをその外周部分を利用して接着し、撮像部を封入して保護する構成とすることができる。40

**【0040】**

ところで固体撮像素子を用いる撮像装置においては、固体撮像素子の分光感度と視感度の相違を補正する目的で赤外カットフィルタを光路中に配置することが一般的に行われている。そこで本実施形態の光学ローパスフィルタの少なくとも 1 面に赤外カット機能を有する誘電体の多層膜を蒸着し、赤外カットフィルタとしても作用するよう構成すれば、系の小型化を図る上でより望ましい。

**【0041】**

10

20

30

40

50

また、本実施形態の撮像装置では、光学ローパスフィルタが2次元の固体撮像素子の長辺方向に被写体像を分離させる作用を有する複屈折板を含み、その複屈折板の厚さをd、固体撮像素子の長辺方向の画素ピッチをpとしたとき、

$$0.012 < p / d < 0.033 \dots (3)$$

なる条件式を満足するように構成している。

#### 【0042】

条件式(3)は、偽解像信号と偽色信号を発生させる原因となる水平方向の画素ピッチと、水平方向に光線を分離させる作用を持つ一軸性単結晶の複屈折板の厚さとの関係を規定した式である。条件式(3)を満足する構成とすれば、所定の画素数の固体撮像素子を想定したとき、実質的に複屈折板の外形寸法と厚さの比を適切に設定することになり、機械加工上の問題点の解決が容易となり、また取り扱い上の問題を低減させることができるとなる。

10

#### 【0043】

また、このとき光学ローパスフィルタを構成する一軸性単結晶の光学軸(Z軸)と複屈折板の入射面の法線とのなす角をθが、条件式(1)又は(2)のいずれか一方を満足するように構成することが望ましい。条件式(1)及び条件式(2)の持つ意味については先に説明したとおりである。

#### 【0044】

このように、CCD、MOS等の2次元の固体撮像素子を使用する撮像装置において、被写体像の高周波数成分による偽解像信号や偽色信号を低減させる目的で撮像光学系と固体撮像素子の間に配置する光学ローパスフィルタの厚さを適切に設定することにより、機能上、かつ機械加工上における不具合を除去した好適な光学ローパスフィルタを実現でき、またこのような光学ローパスフィルタを効果的に具備した撮像装置を実現することができる。更に、銀塩カメラ用の交換レンズシステムをそのまま良好に利用することのできる一眼レフ方式のデジタルスチルカメラを実現することが可能となる。

20

#### 【0045】

次に本発明の光学ローパスフィルタを適用した撮影装置の具体的な実施例について説明する。

#### 【0046】

##### (第1の実施例)

30

図2は、本実施形態の光学ローパスフィルタを一眼レフ方式のデジタルスチルカメラに搭載した際の撮像系の概略断面図である。図2において、1は交換可能に構成された撮影レンズ(撮像光学系)であり、銀塩カメラ用の交換レンズも利用できるようマウントが共通化されている。2はニオブ酸リチウムの単結晶の複屈折板を2枚(図示21, 22)接合した平行平板より構成した光学ローパスフィルタ、3は固体撮像素子を示している。本実施例のカメラでは、光学ローパスフィルタ2を固体撮像素子3の直前に配置し、2枚の複屈折板21, 22の作用により被写体像を4つの像に分離して撮像している。

#### 【0047】

図3に図2に示した本実施例の光学ローパスフィルタ2を構成するニオブ酸リチウムの単結晶の複屈折板21, 22の説明図を示す。本実施例の光学ローパスフィルタ2は、ニオブ酸リチウムの単結晶の複屈折板21, 22を2枚貼り合わせて構成している。図3(a)は、光学ローパスフィルタ2を撮影レンズ1の光軸方向から見た図であって、z1a, z2aは、それぞれ複屈折板21, 22の光学軸(Z軸)の正射影を表わしている。図3(a)に示されるように、本実施例では複屈折板21のZ軸の正射影z1aは光学ローパスフィルタ2の長辺方向を向いており(長辺に平行)、複屈折板22のZ軸の正射影z2aは光学ローパスフィルタ2の長辺と角度θ2をなす方向を向いている。なお本実施例では、θ2 = 45°としている。

40

#### 【0048】

光学ローパスフィルタ2の大きさは、撮像素子3の有効画素領域の大きさに加えて、撮影レンズ1から入射する光線の立体角と光学ローパスフィルタ2そのものの保持を考慮して

50

決定されるが、本実施例では、撮像素子3の有効画素領域より一回り大きくなっている。なお当然ではあるが、光学ローパスフィルタ2の長辺の方向は、撮像素子の長辺方向とほぼ一致するように配置される。

#### 【0049】

本実施例の光学ローパスフィルタ2を、図3(a)のA視方向から見た図を図3(b)に、その一部拡大図を図3(c)に示す。図3(b)及び図3(c)において $z_1$ は複屈折板21のZ軸を表わしており、図3(c)に示されるように、複屈折板21のZ軸 $z_1$ と光学ローパスフィルタ2の入出射面の法線は、角度 $\alpha_1$ をなすように構成されている。本実施例では $\alpha_1 = 75^\circ$ としている。また本実施例の光学ローパスフィルタ2を図3(a)のB視方向から見た図を図3(d)に、その一部拡大図を図3(e)に示す。図3(d)及び図3(e)において $z_2$ は複屈折板22のZ軸を表わしており、図3(e)に示されるように、複屈折板22のZ軸 $z_2$ と光学ローパスフィルタ2の入出射面の法線は角度 $\alpha_2$ をなすように構成されている。本実施例では $\alpha_2 = 75^\circ$ としている。更に複屈折板21, 22のそれぞれの厚さ $d_1$ ,  $d_2$ については、複屈折板21は $d_1 = 0.45$ 、複屈折板22は $d_2 = 0.30$ としている。10

#### 【0050】

本実施例では、複屈折板21及び22をこのように構成することによって、常光線に対し異常光線を各々水平方向(長辺方向)に約 $10\text{ }\mu\text{m}$ 、水平に対し斜め $45^\circ$ 方向に約 $7\text{ }\mu\text{m}$ ずらして結像させ、被写体像を4つに分離させている。

図4にこの被写体像の分離状況を示す。図4において、 $p$ は撮像素子3の長辺方向(水平方向)の画素ピッチである。20

#### 【0051】

ところで、本実施例の撮像素子3は $10\text{ }\mu\text{m}$ 四方の正方形を1画素の形状とする固体撮像素子であり、各画素の前方に前出の図5に示すような繰り返しパターンよりなるカラーフィルタの配列を備え、水平方向に1950画素、垂直方向に1300画素を使用するようにして、有効画素数250万画素余りの2次元のカラー固体撮像素子を構成している。図5において、Gは緑色光、Bは青色光、Rは赤色光をそれぞれ透過させるカラーフィルタである。

#### 【0052】

本実施例において、固体撮像素子3の長辺方向に被写体像を分離させる作用を有する複屈折板21の厚さ $d$ と、固体撮像素子3の長辺方向の画素ピッチを $p$ の関係は、30

$$p/d = 0.022$$

となっており、前述の条件式(3)を満足している。

#### 【0053】

図5に示されるようなカラーフィルタを具備した正方形画素の2次元の固体撮像素子では、 $n$ を整数としたとき、空間周波数 $n/p$ の被写体像においてモアレが発生し、空間周波数 $(2n-1)/2p$ の被写体像において偽色信号が発生することが周知となっており、少なくともこれらの空間周波数におけるMTF値を低く抑制するような光学ローパスフィルタが必要となっている。

#### 【0054】

本実施例の光学ローパスフィルタは、図5に示されるようなカラーフィルターの配列と、画素のサンプリングピッチ $p$ に基づいて発生する偽解像信号や偽色信号を効率的に低減させるため、複屈折板21によって水平方向に異常光線を $p$ だけ分離させ、さらに複屈折板22によって斜め $45^\circ$ 方向に異常光線を40

#### 【0055】

#### 【外1】

$$p/\sqrt{2}$$

だけ分離させるように構成し、図4に示されるように被写体像を4つに分離させている。

本実施例においては、画素ピッチ  $10 \mu\text{m}$  の撮像素子を想定しているため、複屈折板 21 は水平方向に画素ピッチ  $10 \mu\text{m}$  と略等距離の像の分離を行なうことによって主として前述のモアレを低減させるように作用させ、複屈折板 22 は斜め  $45^\circ$  方向に約  $7 \mu\text{m}$ 、即ち、水平方向及び垂直方向に画素ピッチ  $10 \mu\text{m}$  の約  $1/2$  に相当する距離  $5 \mu\text{m}$  の像の分離を行なうことによって主として前述の偽色信号を低減させるように作用させている。

#### 【0056】

本実施例では、このように複屈折板 21, 22 の 2 枚の複屈折板を用いることによって、画素ピッチ  $p$  によって決定される遮断周波数  $1/2p$  以上の高い空間周波数の MTF 値を低く抑制し、偽解像信号や偽色信号の発生を低減させる光学ローパスフィルタを効率的に構成している。

10

#### 【0057】

本実施例の光学ローパスフィルタの空間周波数特性を図 6 に示す。図 6 (a) は水平方向 (撮像素子の長辺方向)、図 6 (b) は垂直方向 (撮像素子の短辺方向) を表わしている。

#### 【0058】

##### (第 2 の実施例)

図 7 は、第 2 の実施例の光学ローパスフィルタ 102 を構成するニオブ酸リチウムの単結晶の複屈折板 121, 122 の説明図である。本実施例の光学ローパスフィルタ 102 は、図 1 に示した撮像系と同様に撮影レンズ 1 と固体撮像素子 3 の間の光路中に配置して使用され、第 1 の実施例の光学ローパスフィルタ 2 と機能的には等価なものである。第 1 の実施例の光学ローパスフィルタ 2 と異なる点について以下に説明する。

20

#### 【0059】

図 7 (a) は、光学ローパスフィルタ 102 を撮影レンズ 1 の光軸方向から見た図であって、 $z_1a$ ,  $z_2a$  は、それぞれ複屈折板 121, 122 の光学軸 (Z 軸) の正射影を表わしている。図 7 (a) に示されるように、本実施例では複屈折板 121 の Z 軸の正射影  $z_1a$  は光学ローパスフィルタ 102 の長辺方向を向いており (長辺に平行)、複屈折板 122 の Z 軸の正射影  $z_2a$  は光学ローパスフィルタ 102 の長辺と角度  $\angle 2$  をなす方向を向いている。なお本実施例でも、 $\angle 2 = 45^\circ$  としている。

#### 【0060】

本実施例の光学ローパスフィルタ 102 の大きさは、第 1 の実施例の光学ローパスフィルタ 2 と同様に、撮像素子 3 の有効画素領域より一回り大きく構成されている。なお、やはり光学ローパスフィルタ 102 の長辺の方向は、撮像素子 3 の長辺方向とほぼ一致するよう構成されている。

30

#### 【0061】

本実施例の光学ローパスフィルタ 102 を、図 7 (a) の A 視方向から見た図を図 7 (b) に、その一部拡大図を図 7 (c) に示す。図 7 (b) 及び図 7 (c) において  $z_1$  は複屈折板 121 の Z 軸を表わしており、図 7 (c) に示されるように、複屈折板 121 の Z 軸  $z_1$  と光学ローパスフィルタ 102 の入出射面の法線は角度  $\angle 1$  をなすように構成されている。本実施例では  $\angle 1 = 15^\circ$  としている。また本実施例の光学ローパスフィルタ 102 を図 7 (a) の B 視方向から見た図を図 7 (d) に、その一部拡大図を図 7 (e) に示す。図 7 (d) 及び図 7 (e) において  $z_2$  は複屈折板 122 の Z 軸を表わしており、図 7 (e) に示されるように、複屈折板 122 の Z 軸  $z_2$  と光学ローパスフィルタ 102 の入出射面の法線は角度  $\angle 2$  をなすように構成されている。本実施例では  $\angle 2 = 35^\circ$  としている。本実施例では、複屈折板 121 の厚さ  $d_1 = 0.30$ 、複屈折板 122 の厚さ  $d_2 = 0.30$  となっている。

40

#### 【0062】

本実施例の光学ローパスフィルタ 102 は、複屈折板 121, 122 をこのように構成することによって、第 1 の実施例と同様に、常光線に対して異常光線を各々水平方向に約  $10 \mu\text{m}$ 、斜め  $45^\circ$  方向に約  $7 \mu\text{m}$  ずらして結像させ、被写体像を 4 つに分離させている。

50

**【 0 0 6 3 】**

本実施例では、複屈折板を構成するニオブ酸リチウムのZ軸と光学ローパスフィルタの入出射面の法線とのなす角 $\theta$ が第1の実施例と異なる例を示したが、条件式(1)又は(2)を満足する範囲内で角 $\theta$ を適切に設定することによって、第1の実施例と同様に機械加工上の問題点や取り扱い上の問題点を克服した十分に薄型の光学ローパスフィルタを実現することができる。

**【 0 0 6 4 】**

なお、第1及び第2実施例において、複数枚の複屈折板の各Z軸を異なる方向に向けた上で貼り合わせているのは、前述のように高い周波数成分のMTF値を低減させる作用の他に、所定方向にへき開しやすいというニオブ酸リチウム単結晶の欠点を克服するという効果を得るためのものである。10

**【 0 0 6 5 】**

また、光学ローパスフィルタにニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板を用いた上で、赤外カットフィルタとして赤外波長域の光を吸収する色ガラスフィルタではなく、誘電体多層膜からなる赤外域の光を反射させるダイクロイックフィルタを併用すれば、赤外カットフィルタとしての平行平板も不要になり、小型化及び光学性能の一層の向上が図れる。このときダイクロイックフィルタはニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板の少なくとも1面に蒸着すればより効果的である。

**【 0 0 6 6 】**

この他、ニオブ酸リチウム単結晶の特徴として、水晶や撮影レンズに用いられる光学ガラス等に対して屈折率が高いという点がある。このためニオブ酸リチウム単結晶の平行平板の空気との界面は反射率が高く、表面を露出したままでは反射光がフレアーとなって画質を著しく低下させる要因となり得た。また、複屈折板同士を接合する際の接合面との界面に関しても、接着剤としてこれらの複屈折板と同程度の屈折率を持った接着剤を使用して接合すれば界面反射の問題は少ないのだが、そのような接着剤で透明なものはあまり一般的となっていない。そこで、少なくともこれらの複屈折板の空気との界面に反射防止のための膜を蒸着することが好ましく、更に複屈折板同士の接合面側にも接着剤との界面における反射を低減させる反射防止のための膜を蒸着することがより好ましい。このようにニオブ酸リチウムの単結晶の複数枚の複屈折板による光学ローパスフィルタを構成する際には、複屈折板の各面に所定の蒸着膜を付加し、接着するように構成することが望ましい。20

**【 0 0 6 7 】**

また、第1、第2の実施例の説明においては、光学ローパスフィルタを2枚の複屈折板によって構成した例を示したが、3枚の複屈折板を貼り合わせ被写体像の高周波数成分による偽解像信号や偽色信号をより良好に補正することも当然のごとく考えられる。

**【 0 0 6 8 】****( その他の実施形態 )**

次に第1の実施例や第2の実施例の光学ローパスフィルタを固体撮像素子の保護板とした実施形態について図8を用いて説明する。図8において、92は第1又は第2の実施例で説明した光学ローパスフィルタ、94はパッケージ、95は撮像部を表わしている。図8の撮像素子は、CCDやMOS等の2次元の固体撮像素子から成る撮像部95をパッケージ94内に配設し、パッケージ94を透明な平行平板で覆うタイプの撮像素子であって、図8の実施形態では、この透明な平行平板に光学ローパスフィルタを適用し、保護板として機能を持たせている。40

**【 0 0 6 9 】**

通常、保護板としての平行平板には低価格の板ガラスを用いることが多いが、光路中に平行平板が存在することは、前述した理由によってスペース上及び撮影光学系の光学性能上の両面から望ましくない。そこで、図8に示した実施形態では、撮像素子を用いた光学系において必須に近い光学ローパスフィルタを撮像部の保護板として利用し、光路中に存在する平行平板をなるべく少なくしている。

**【 0 0 7 0 】**

10

20

30

40

50

図9は、第1の実施例や第2の実施例の光学ローパスフィルタを固体撮像素子の保護板とした利用した図8とは異なる実施形態であり、撮像部を基板上に配設することによって、撮像ユニットそのものの薄型化を図ったものである。図9の撮像素子は、基板96の両面に撮像部97と保護板としての光学ローパスフィルタ98を接着した構成となっており、これにより、撮像ユニットそのものの厚さを薄くするというこの撮像ユニットの目的をより良好に達成するものである。

【0071】

なお、図8や図9に示した固体撮像素子の実施形態において、保護板としての光学ローパスフィルタと撮像部は直接接触していないが、より小型化を図るために撮像部に光学ローパスフィルタを直接貼り合わせてもよい。

10

【0073】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、複屈折板の厚さが適切になるよう結晶の光学軸と入射面の法線の関係を適切に設定することで、光学性能上、また機械加工上における不具合を除去した光学ローパスフィルタを有する撮像装置を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】ニオブ酸リチウム単結晶の光学軸と平行平板の入出射面の法線のなす角と、常光線と異常光線の分離巾の関係を説明するための図である。

【図2】第1の実施例の光学ローパスフィルタを一眼レフレックスカメラに搭載した際の撮像系の概略断面図である。

20

【図3】第1の実施例の光学ローパスフィルタの説明図である。

【図4】常光線と異常光線による被写体像の分離の様子の説明図である。

【図5】撮像素子上に用いるカラーフィルタ配列の説明図である。

【図6】第1の実施例の光学ローパスフィルタの空間周波数特性を示す説明図である。

【図7】第2の実施例の光学ローパスフィルタの説明図である。

【図8】光学ローパスフィルタを保護板として配設した撮像ユニットの説明図である。

【図9】光学ローパスフィルタを保護板として配設した他の撮像ユニットの説明図である。

【図10】平行平板で発生する光線収差の説明図である。

【符号の説明】

30

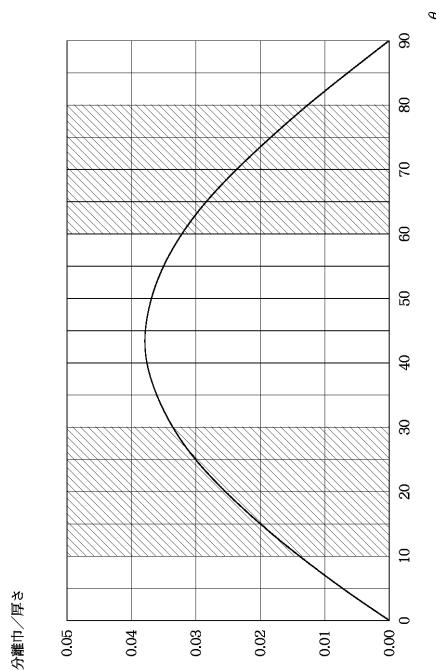
1 撮影レンズ

2, 102 光学ローパスフィルタ

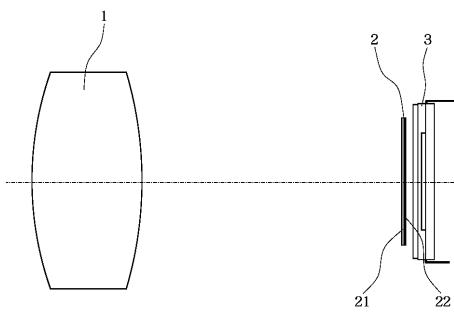
3 撮像素子

21, 22, 121, 122 ニオブ酸リチウム単結晶の複屈折板

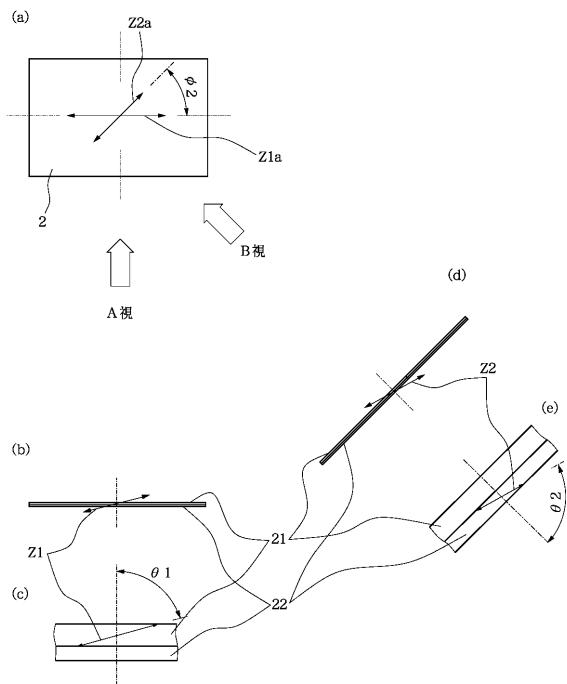
【図1】



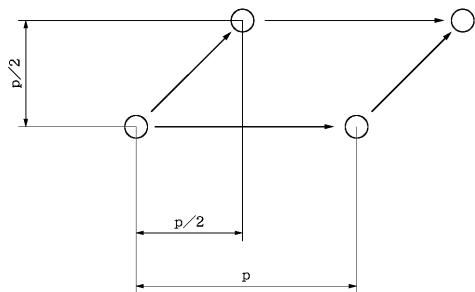
【図2】



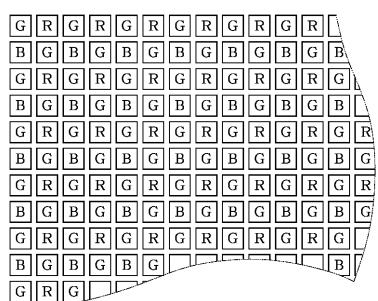
【図3】



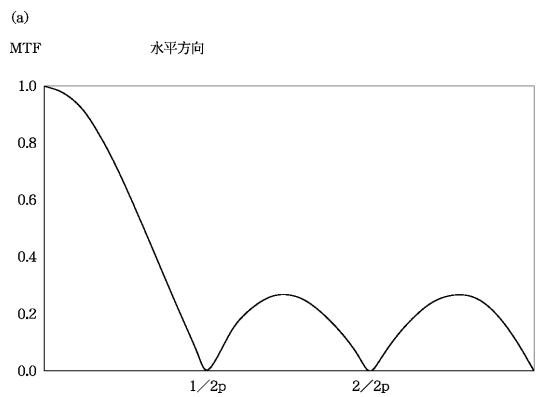
【図4】



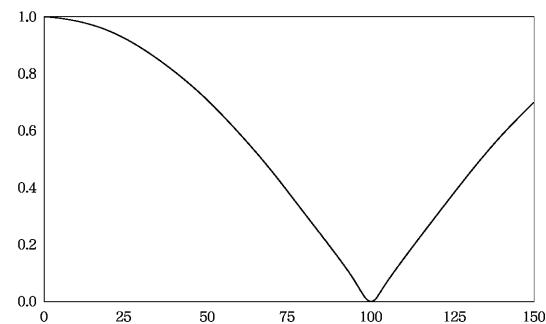
【図5】



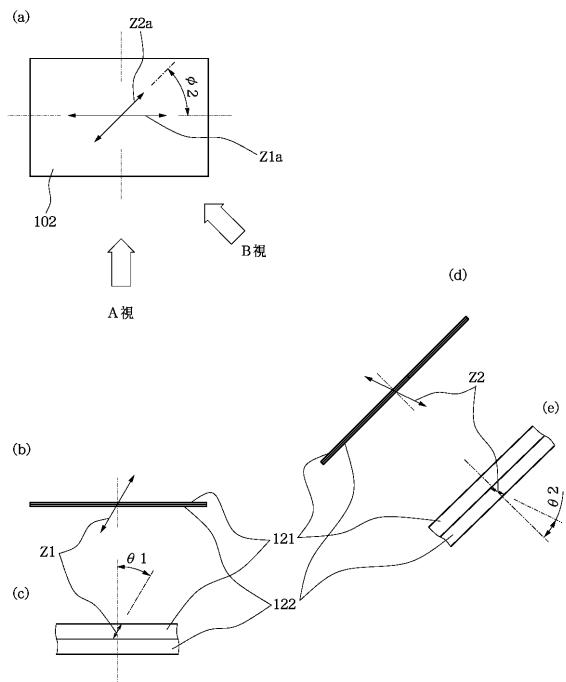
【図6】



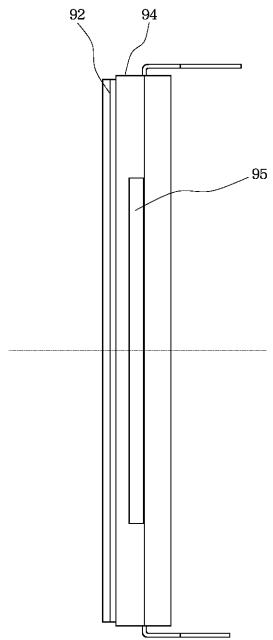
(b) MTF 垂直方向



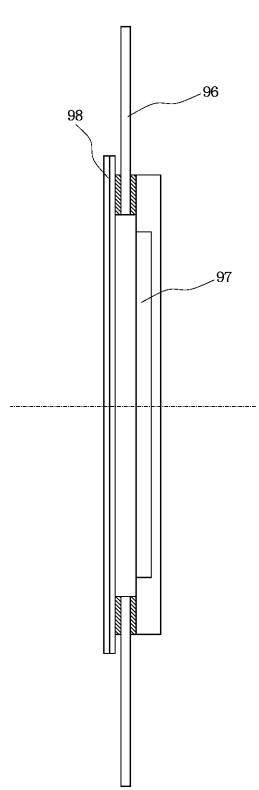
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

