(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3833754号
(P3833754)
(45)発行日　平成18年10月18日(2006.10.18)　(24)登録日　平成18年7月28日(2006.7.28)

(51)Int.Cl.　F I
G02B 13/00 (2006.01)　G02B 13/00
G02B 13/18 (2006.01)　G02B 13/18
G02B 27/42 (2006.01)　G02B 27/42

請求項の数 4　(全 13 頁)

(21)出願番号　特願平8-277793
(22)出願日　平成8年10月21日(1996.10.21)
(65)公開番号　特開平10-73760
(43)公開日　平成10年3月17日(1998.3.17)
審査請求日　平成14年12月16日(2002.12.16)
(31)優先権主張番号　特願平8-172373
(32)優先日　平成8年7月2日(1996.7.2)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000000376
オリンパス株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号
(74)代理人　100097777
弁理士　韮澤　弘
(74)代理人　100088041
弁理士　阿部　龍吉
(74)代理人　100092495
弁理士　蛭川　昌信
(74)代理人　100095120
弁理士　内田　亘彦
(74)代理人　100095980
弁理士　菅井　英雄
(74)代理人　100094787
弁理士　青木　健二

最終頁に続く

(54)【発明の名称】回折型光学素子を有する電子カメラ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

物体側から順に、絞りと１枚正レンズにて構成されている光学系を備えた電子カメラであって、

該正レンズは前記絞りに対して凹面を向けたメニスカスレンズであり、

前記正レンズは絞りと反対側の面が回折面にて構成され、

下記の条件式を満足することを特徴とする回折型光学素子を有する電子カメラ。

$3 < f_D / f < 15$　・・・（１）’

$0.075 < d / f < 0.15$　・・・（２）

$-0.5 < (r_A - r_B) / (r_A + r_B) < -0.1$　・・・（４）

ただし、f_D は前記回折面の焦点距離、ｆはレンズ系全系の焦点距離、ｄは前記正レンズの厚みであり、回折型光学素子の基材において、r_A は屈折力の強い面の曲率半径であり、r_B は屈折力の弱い面の曲率半径である。

【請求項２】

前記正レンズはガラス材料にて構成され、その表面に薄い樹脂層が形成されており、その樹脂面上に回折面が構成されていることを特徴とする請求項１記載の回折型光学素子を有する電子カメラ。

【請求項３】

前記正レンズはガラス材料にて構成され、その表面に直接回折面が形成されていることを特徴とする請求項１記載の回折型光学素子を有する電子カメラ。

【請求項４】
　請求項１から３の何れか１項において、回折型光学素子は以下の条件式を満たすことを特徴とする回折型光学素子を有する電子カメラ。
　　４５＜ν_D　　・・・（３）
ただし、ν_D は回折光学素子の基材のアッベ数である。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
　本発明は、回折現象に基づくレンズ作用を持った回折面を有するような回折型光学素子（以下、Ｄｉｆｆｒａｃｔｉｖｅ　Ｏｐｔｉｃａｌ　Ｅｌｅｍｅｎｔを略してＤＯＥと称する。）を有する電子カメラに関するものであり、特に、１枚の正レンズにて構成されるような簡単な構成のレンズ系をカメラ撮影光学系に利用した電子カメラに関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
従来より、レンズ付きフィルムに代表されるような安価なカメラには、プラスチック製の単レンズが用いられている。しかし、よく知られているように、単レンズでは収差補正の自由度が少なく、球面収差を最小にする、あるいは、低次コマ収差をゼロにするようにベンディング形状を選択する程度の自由度しかない。特に、色収差の補正とペッツバール像面の補正は本質的に不可能である。したがって、これらの問題に対していくつかの工夫がなされており、第１には、フィルム面をシリンドリカル形状とすることで、像面湾曲の影響を緩和している。第２には、Ｆナンバーを大きくして球面収差等の発生を少なくし、また、焦点深度が深くなるから色収差の影響を緩和している。さらに、焦点深度を深くすることで焦点合わせを不要となし、簡単操作と低価格の実現に役立っている。第３には、非球面を利用して色収差やペッツバール像面以外の収差を改善することである。
【０００３】
このような単レンズの先行例として、特開平６－５９１８８号のものがある。この実施例９に従って具体的に説明する。実施例９は、焦点距離が３０ｍｍ、Ｆナンバーが９．７であり、両面共に非球面が用いられている。この先行例においては、レンズ厚みや絞り間隔に対するディストーション及びコマ収差の関連が述べられており、結論として、ディストーションを減らすためにレンズ厚みを小となし、コマ収差補正のために絞り間隔を大としている。そして、両面非球面にてその他の収差を改善している。また、フィルム面は曲率半径が８０ｍｍないし３００ｍｍのシリンドリカル面となっている。しかし、特開平６－５９１８８号の公報の図１３の収差図から分かるように、球面収差は最大光線高で１．２ｍｍ程度、ｇ線の軸上色収差は０．８ｍｍ程度、倍率色収差は最大画角で０．１５ｍｍ程度発生しており、決して満足できるものではない。その他の先行例においても収差の状況は同様である。
【０００４】
もし、レンズのＦナンバーを小さくして明るくし、オートフォーカス機能を搭載してより高仕様のカメラを目指しても、従来の単レンズでは実用に耐えない。あるいは、ＣＣＤ素子を受像面とするようないわゆる電子カメラにおいても同様である。
【０００５】
本発明では、後記するように、ＤＯＥを用いてより高仕様・高画質な単レンズを実現しようとするものである。
【０００６】
次に、回折型光学素子（ＤＯＥ）について説明する。ＤＯＥに関しては、「光学」第２２巻第６３５～６４２頁及び第７３０～７３７頁等に詳しく解説されている。
【０００７】
従来のレンズが媒質の界面における屈折作用に基づいているのに対し、ＤＯＥは光の回折作用に基づいている。一般的に、図１で示すような回折格子へ光が入射したとき、回折作

用にて射出される光は以下の関係式を満たす。

【０００８】

ｓｉｎθ－ｓｉｎθ’＝ｍλ／ｄ　　・・・（ａ）

ただし、θは入射角、θ’は射出角、λは光の波長、ｄは回折格子のピッチ、ｍは回折次数である。したがって、（ａ）式に従ってリング状の回折格子のピッチを適切に構成してやれば、光を一点に集光させること、すなわち、レンズ作用を持たせることができる。このとき、ｊ番目の格子のリング半径をr_j、回折面の焦点距離をｆとすると、１次近似の領域にて以下の式を満たす。

【０００９】

$r_j^2 = 2j\lambda f$　　・・・（ｂ）

一方、回折格子の構成法としては、明暗のリングにて構成する振幅変調型、屈折率あるいは光路長を変える位相変調型等が提案されている。振幅変調型のＤＯＥでは複数の回折次数光が発生するため、例えば入射光の光量と１次回折光の光量比（以下、回折効率と称す。）は最大でも６％程度である。あるいは、振幅変調型のＤＯＥを漂白処理等を施して改良したとしても、回折効率は最大で３４％程度である。しかし、同じく位相変調型のＤＯＥでも、その断面形状を図２（ａ）に示すような鋸歯形状で構成すれば、回折効率を１００％まで向上できる。このようなＤＯＥをキノフォームと称している。このとき、鋸歯状の山の高さは次式で与えられる。

【００１０】

ｈ＝ｍλ／（ｎ－１）　　・・・（ｃ）

ただし、ｈは山の高さ、ｎは基材の屈折率である。（ｃ）式からも予測されるように、回折効率１００％は只一つの波長に対してのみ達成される。また、キノフォーム形状を図２（ｂ）のように階段近似したものはバイナリー光学素子と呼ばれたりするが、これはリソグラフィー的手法にて比較的容易に製作できる。バイナリー光学素子では、４段階近似で８１％、８段階近似で９５％、１６段階近似で９９％の回折効率が得られることが知られている。

【００１１】

ＤＯＥの設計法についてもいくつかの方法が知られているが、本発明ではウルトラ・ハイ・インデックス法を用いている。この手法については、"Mathematical equivalence between a holographic optical element and ultra-high index lens"J. Opt. Sos. Am. 69, 486-487 、又は、"Using a conventional optical design program to design holographic optical elements" Opt. Eng. 19,649-653 等に示されている。すなわち、ＤＯＥは厚みが０で屈折率が非常に大きな屈折面と等価であることが知られている。

【００１２】

ＤＯＥをレンズとして用いるとき、２つの重要な特徴がある。第１の特徴は、非球面作用を持つことであり、回折格子のピッチを適切に構成すれば光を完全に一点に集めることができる。このことは、非球面にて球面収差をゼロに補正することと同じ作用である。第２の特徴は、色の分散が非常に大きいことである。アッベ数で表現すれば－３．４５という値になり、従来の屈折作用の材料と比べると数１０倍の色収差が反対方向に発生する。分散が大きいことは自然光の下で使用されるレンズ系にＤＯＥを応用するとき、最大の問題となる。また、ＤＯＥの任意の波長における屈折率は、以下の（ｄ）式にて与えられる。

$n(\lambda) = 1 + \{n(\lambda_0) - 1\} \cdot \lambda / \lambda_0$　　・・・（ｄ）

ただし、λは任意の波長、ｎ（λ）はそのときの屈折率、λ_0は基準波長、ｎ（λ_0）はそのときの屈折率である。

【００１３】

このようなＤＯＥを自然光の下で使用されるレンズ系に適用した例として、"Hybrid diffractive-refractive lenses and achromats"Appl.Opt.27,2960-2971 が知られている。この先行例においては、近軸の色収差補正の原理に基づいて、アッベ数－３．４５のレンズと従来のガラスレンズを組み合わせて色収差補正を行った場合の計算例が示されている。具体的には、物体側面は凸面であり、像側面は平面であるようなレンズにおいて、平面上

に回折面を構成しており、このとき、軸上色収差のアクロマート化と残存する２次スペクトルについて示されている。しかし、倍率色収差やその他の収差に関しては触れておらず、具体的な設計データもない。

【００１４】

また、ＷＯ９５／１８３９３号において、被写体側に凸な正メニスカスレンズと絞りを配置し、正レンズの像面側を回折面にて構成した例が示されている。この先行例では、屈折系と回折系の組み合せにより色収差を補正し、レンズ部品を増やすことなく高性能を達成したものである。しかし、上記公報に示された実施例は、レンズ厚みが薄く成形性や組立性に劣る。さらに、レンズ全長がやや長いという欠点を有する。

【００１５】

また、本出願人は、特開平６－３２４２６２号において、望遠レンズへの適用例を示している。この公報では、従来の望遠レンズの前に平板状のＤＯＥを配置し、色収差補正の改善を行っている。したがって、収差は非常に良くなっているが、部品点数を増やしており、ＤＯＥのメリットを十分に生かしているとは言いがたい。

【００１６】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、ＤＯＥを用いて高仕様・高画質な単レンズを得ること、特に、電子カメラの色収差の補正が要求されるものに適した光学系を提供することである。さらに、レンズ厚みを適度に厚くしてレンズ全長の短縮を図った光学系を提供することを目的としている。

【００１７】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成する本発明の回折型光学素子を有する電子カメラは、物体側から順に、絞りと１枚正レンズにて構成されている光学系を備えた電子カメラであって、

該正レンズは前記絞りに対して凹面を向けたメニスカスレンズであり、

前記正レンズは絞りと反対側の面が回折面にて構成され、

下記の条件式を満足することを特徴とするものである。

$3 < f_D / f < 15$　　・・・（１）’

$0.075 < d / f < 0.15$　　・・・（２）

$-0.5 < (r_A - r_B) / (r_A + r_B) < -0.1$　　・・・（４）

ただし、f_D は前記回折面の焦点距離、ｆはレンズ系全系の焦点距離、ｄは前記正レンズの厚みであり、回折型光学素子の基材において、r_A は屈折力の強い面の曲率半径であり、r_B は屈折力の弱い面の曲率半径である。

【００１８】

この場合、その正レンズはガラス材料にて構成され、その表面に薄い樹脂層が形成されており、その樹脂面上に回折面が構成されていることが望ましい。

【００１９】

また、その正レンズはガラス材料にて構成され、その表面に直接回折面が形成されていてもよい。

また、以上において、回折型光学素子は以下の条件式を満たすことが望ましい。

$45 < \nu_D$　　・・・（３）

ただし、ν_D は回折光学素子の基材のアッベ数である。

【００２０】

以下、本発明において上記構成をとる理由と作用について説明する。

正単レンズの片方の面のみが曲率を有する場合、すなわち凸平形状とＤＯＥの組み合わせで収差補正を行うと、軸上色収差及び倍率色収差の補正はできるがコマ収差の補正が不十分であり、さらに非点収差の色収差が大きく発生することが分かった。したがって、凸平形状のレンズでは、例えＤＯＥを用いたとしても高性能は得られない。そこで、まず基準波長における基本的な収差を補正するために、両面共に曲率を有するレンズであることが望ましい。この場合、絞りとレンズが接近し、また、レンズも非常に薄いならば、レンズ

のベンディングと収差の関係により両凸形状が望ましいことが知られている。絞りがレンズへ接近する程歪曲収差や倍率色収差の発生が少なくなる。しかし、コマ収差の補正が不十分となってしまい好ましくない。そこで、コマ収差を適当に補正しつつ全画面の性能をバランス良くとるために、絞りとレンズを十分離して配置する必要がある。

【００２１】

このように、一般的には、レンズと絞りは離して配置されるし、レンズ自体も適度な厚みが必要とされるので、正レンズは絞りに対して凹面を向けたメニスカス形状であることが望ましい。このようにして基準波長におけるコマ収差等の発生を小さくできる。

【００２２】

そして、少なくとも１面を回折面にて構成すれば、回折面の作用と屈折系の作用で色収差補正が可能となる。この場合、回折面のアッベ数は－３．４５と負の値を持っているから、色収差補正の実現には正パワー同士の組み合わせが必要となる。色収差の補正に関して、以下に説明する。

【００２３】

一般に、第１レンズの焦点距離をf_1、アッベ数をν_1とし、第２レンズの焦点距離をf_2、アッベ数をν_2とすれば、薄肉密着系の合成焦点距離及び近軸色収差補正の式は以下のようになる。ただし、ｆは合成焦点距離である。

【００２４】

$$1/f = 1/f_1 + 1/f_2 \quad \cdots (e)$$

$$1/f_1\,\nu_1 + 1/f_2\,\nu_2 = 0 \quad \cdots (f)$$

これらの式より、各レンズの焦点距離は、

$$f_1 = (1 - \nu_2/\nu_1)\,f \quad \cdots (g)$$

$$f_2 = -(\nu_1/\nu_2 - 1)\,f \quad \cdots (h)$$

となることが知られている。（ｇ）式及び（ｈ）式より、組合せレンズの焦点距離とアッベ数が求められる。本発明の場合、回折面のアッベ数は－３．４５と負の値を持っているから、色収差補正の実現は正パワー同士の組み合せが必要となる。

【００２５】

従来の屈折系では、薄肉密着系として近似できており、（ｇ）式及び（ｈ）式に従って構成すれば、軸上色収差及び倍率色収差共に良好に補正される。しかし、本発明のように回折面を有する単レンズにおいては、回折面で発生する高次収差が大きく、軸上色収差を補正しても倍率色収差は補正不足となってしまう。そこで、倍率色収差を十分に補正するために、軸上色収差を補正過剰な状態にしている。そのための条件式が以下の（１）式である。（１）式満たすことで、広い画角での高性能を達成している。

$$3 < f_D/f < 30 \quad \cdots (1)$$

ただし、f_Dは回折面の焦点距離、ｆはレンズ系全系の焦点距離である。

【００２６】

ここで、回折面のアッベ数をν_D、屈折系のアッベ数をν_Rとすると、前記（ｇ）式より、

$$f_D/f = 1 - \nu_R/\nu_D \quad \cdots (i)$$

となる。（ｉ）式より、例えば$\nu_R = 30$のとき、$f_D/f = 9.7$であり、$\nu_R = 60$のとき、$f_D/f = 18.4$となる。ただし、すでに述べたように、$\nu_D = -3.45$である。（ｉ）式は、１次領域での色収差補正式であるが、軸上色収差を補正過剰とするために、これより小さな値とすることがよく、そのための条件式が（１）式である。カメラ等の撮影光学系では、広い範囲の波長域が用いられるため、ｇ線とＣ線にて色収差補正が行われることが多い。（１）式の上限の３０を越えると、正レンズの基材として使える材料が高価なものとなってしまうので、好ましくない。一方、（１）式の下限の３を越えると、基材として使える材料がない。

【００２７】

なお、特に、正レンズの絞りと反対側の面が回折面にて構成される場合には、

$$3 < f_D/f < 15 \quad \cdots (1)'$$

を満足することが望ましい。

【００２８】

また、基材のアッベ数が小さい程２次スペクトルの量は大きくなってしまう。そこで、良好な色収差を達成するためには、

$$45 < \nu_D \quad \cdots (3)$$

を満たすことが好ましい。ただし、ν_D は回折光学素子の基材のアッベ数である。（３）式の下限の４５を越えると、２次スペクトルの発生量が大きくなって好ましくない。

【００２９】

また、良好な色収差を達成するためには、条件式（１）若しくは（１）’は以下の場合がより好ましい。

【００３０】

$$6 < f_D / f < 12 \quad \cdots (1)''$$

ところで、（ｇ）式及び（ｈ）式に従って色収差補正を行ったとしても、屈折系のみによる補正と、回折面を有する補正の場合で、２次スペクトルの結果は全く異なる。これを図３を参照にして説明する。図３は、横軸は波長、縦軸は像点位置を示し、縦軸は軸上色収差の発生量に相当している。曲線１は従来の単レンズの場合であり、色収差は全く補正されていない。したがって、短波長側で像点は大きくマイナスである。曲線２は屈折系同士の組み合せによる色収差補正の場合であり、Ｆ線とＣ線の像点が一致するように色消しされている。このとき、２次スペクトルの量は例えばｇ線でみると補正過剰になっている。一方、曲線３は回折面と屈折系の組み合わせによる色収差補正の様子であり、曲線２と同様にＦ線とＣ線で色消しがなされている。しかし、２次スペクトルの曲線は明らかに逆向きとなっており、ｇ線は補正不足になっている。このような違いは、回折面が有する大きな負の分散によるものである。

【００３１】

次に、回折面は絞りと反対側の面に構成されることがよい。一般的に、正レンズは絞りに対して凹面を向けたメニスカスレンズとなる。絞り側の面の曲率は小さく、反対側の面は曲率が大きい。その結果、軸外主光線の面への入射角は、絞り側の面で大きく、反対側の面では小さい。倍率色収差の発生についてみれば、絞り側の面で倍率色収差の発生量が大きく、逆に反対側の面では小さい。したがって、正レンズにおいて、絞り側の面を回折面にて構成すると、倍率色収差を補正するための回折面のパワーをより強くしなければならず、軸上色収差の２次スペクトルが増大する。一方、絞りと反対側の面を回折面にて構成すれば、より小さなパワーの回折面で倍率色収差の補正が可能なので、２次スペクトルを小さくできる。すなわち、軸上色収差の２次スペクトルを小さくするために、正レンズの回折面は絞りと反対側の面がよい。

【００３２】

また、正レンズの厚みは以下の条件式を満たすのがよい。

$$0.075 < d / f < 0.15 \quad \cdots (2)$$

ただし、ｆはレンズ系全系の焦点距離、ｄはレンズの厚みである。（２）式の上限の０．１５を越えると、レンズの径が大きくなりすぎて好ましくない。（２）式の下限の０．０７５を越えると、レンズが薄くなって、正レンズの両面における光線高が接近してしまうため、収差補正にとって好ましくない。さらに、性能が悪化する。

【００３３】

また、リアー絞りの場合には、正レンズの両面が物体側から順に正パワー及び負パワーで構成されており、いわゆるテレフォトタイプとなっているので、全長短縮の効果がある。条件式（２）を満たすようにレンズの厚みを設定すれば、テレフォトの効果が得られやすく、一層の全長短縮が可能となる。

【００３４】

以上のようにＤＯＥを構成することで、軸上色収差や倍率色収差及び基準波長の収差をバランス良く補正できる。しかし、下記条件式を満たすことで、さらに高性能を達成することができる。

$-0.5 < (r_A - r_B)/(r_A + r_B) < -0.1$ ・・・（４）

ただし、ＤＯＥの基材において、r_A は屈折力の強い面の曲率半径であり、r_B は屈折力の弱い面の曲率半径である。

【００３５】

（４）式はレンズのベンディングに関する条件式であり、非点収差の色収差を改善するための条件式である。（１）式を満足することで倍率色収差は補正される。したがって、各波長における像は、像面内（光軸に対して垂直方向）でのズレは小さいが、光軸方向でのズレが大きい場合がある。主光線で説明すると、各波長における主光線と像面との交点のずれが小さいが、最良像面の位置は波長毎に大きく異なっていることがある。これは非点収差の色収差が大きい状況であり、基準波長以外の像は大きくぼけてしまっており、高性能は期待できない。（４）式はこのうよな非点収差の色収差を発生させないための条件式である。（４）式の上限の－０．１を越えると、曲率半径が小さくなりすぎ、（４）式の下限の－０．５を越えると、逆に曲率半径が大きくなりすぎて好ましくない。

【００３６】

また、本発明のレンズではペッツバール和の補正はできない。回折面はペッツバール和へ寄与しないので、屈折系のみの特性でペッツバール和が決まる。したがって、像面湾曲が大きく発生するのでフィルム面の湾曲化が望ましい。あるいは、高屈折率の無機ガラス材料を使用すれば、像面湾曲の発生を改善できる。この場合、ガラス表面に微細な回折格子（例えば、キノフォーム形状）を形成することはかなり困難である。そこで、ガラス表面に薄い樹脂層を形成し、その樹脂表面に回折格子を作製すればよい。このとき使用される樹脂材料としては、紫外線にて硬化するタイプ、熱にて硬化するタイプ等が生産性において好ましい。

【００３７】

また、ガラス基材では、その表面に直接あるいは樹脂層を形成してその表面に回折格子を形成する方法の何れにしても、コストアップは避けられない。そこで、基材自体も樹脂材料にて構成し、その表面に回折格子を成形にて製造すれば、コスト低減が可能になり好ましい。樹脂材料としては、いわゆるアクリル系やポリカーボネイト系のものが一般的であるが、アッベ材料が４５以上の材料を用いることが性能上好ましい。また、一般の樹脂材料は、温度や湿度の変化に伴って屈折率や面形状が変化してしまう。そこで、低吸湿な樹脂材料を用いれば、環境中の湿度変化に伴うレンズの変化を改善できるので望ましい。

【００３８】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の回折型光学素子を有するレンズ系の実施例１～２について説明する。

本発明によるレンズ系の回折面は、ウルトラ・ハイ・インデックス法を用いて設計しており、具体的には、回折面は厚みが０で波長がｄ線のときの屈折率が１００１の屈折型レンズとして表現されている。したがって、後記する数値データにおいても、以下に示すような通常の非球面式にて記載する。すなわち、光軸方向をＺ軸、光軸と垂直な方向をＹ軸とすると、非球面は以下の式にて表せられる。

【００３９】

$$Z = CY^2 / [1 + \sqrt{\{1 - (1+K)\,C^2\,Y^2\}}] + A_4\,Y^4 + A_6\,Y^6 + A_8\,Y^8 + A_{10}Y^{10} \cdots (j)$$

ただし、Ｃは面頂における曲率（＝１／ｒ、ｒは曲率半径）、Ｋは円錐係数、A_4 、A_6 、A_8 、A_{10}はそれぞれ４次、６次、８次、１０次の非球面係数である。

【００４０】

また、回折面と厚みが０で接する面はＤＯＥの基材表面である。そして、実際の製造においては、回折面の非球面形状と基材表面の形状との差及び屈折率から位相変化を求め、この位相変化を回折格子のピッチに換算して基材表面上に回折格子を形成する。つまり、後述する各実施例において、最終的にレンズとしての作用を有するのは基材の面である。

【００４１】

回折面の具体的な形状としては、例えば図６に断面を示すようなものがある。図の（ａ）は、透明部２１と不透明部２２が交互に配列され、不透明部２２の厚みはほぼ０であるが、振幅変調型と呼ばれる回折面である。図の（ｂ）は、屈折率の異なる高屈折率部２３と低屈折率部２４を交互に配列して、屈折率差による位相差にて回折作用を持たせたものである。図の（ｃ）は、矩形状の凹凸を交互に配列して厚みの差による位相差にて回折作用を持たせたものである。これは２レベルのバイナリー素子でもある。図の（ｄ）は、表面を鋸歯形状にしたものであり、キノフォームと呼ばれ、連続的な厚みの差による位相差にて回折作用を持たせたものである（図２（ａ））。図の（ｅ）と（ｆ）は、キノフォームを４レベル及び８レベルで近似したバイナリー素子である（図２（ｂ））。このように回折面の形状にはいくつかの形式があるが、本発明では、回折効率を高くして光量を有効に利用したいため、図６（ｄ）のキノフォームや図６（ｅ）や図６（ｆ）等の４レベル以上のバイナリー素子を用いることが望ましい。

【００４２】

図４、図５にそれぞれ実施例１、２の光軸を含むレンズ断面図を示す。

【００４４】

実施例１、２は、物体側より順に、絞りと正レンズにて構成され、像側の面が回折面にて構成されている。

【００４５】

実施例１、２は、いわゆるアクリル樹脂の基材上にキノフォーム形状を形成している。

【００４６】

回折面の形状は、実施例１、２においては非球面形状である。基材の屈折面については、実施例１の物体側の面が非球面形状である。

【００４７】

以下に、上記実施例１、２の数値データを示す。各データ中、ｆは焦点距離、F_{NO}はＦナンバー、f_Bはバックフォーカス、ωは半画角、r_1、r_2…は各レンズ面の曲率半径、d_1、d_2…は各レンズ面間の間隔、n_{d1}、n_{d2}…は各レンズのｄ線の屈折率、ν_{d1}、ν_{d2}…はｄ線のアッベ数であり、また、非球面形状は前記（ｊ）式にて表される。

【００５５】

実施例１

ｆ＝28.13mm, F_{NO}＝10.0, f_B＝29.95mm, ω＝40.9°

r_1 = ∞（絞り） d_1 = 2.1

r_2 = -17.405 （非球面） d_2 = 3.4 n_{d1} =1.49241 ν_{d1} =57.66

r_3 = -8.78033 d_3 = 0 n_{d2} =1001 ν_{d2} =-3.45

r_4 = -8.78003 （回折面）

非球面係数

第２面

K =-3.7483

A_4 =-1.1079 $\times 10^{-6}$

A_6 =-4.3796 $\times 10^{-5}$

A_8 = 1.0864 $\times 10^{-5}$

A_{10}=-8.6209 $\times 10^{-7}$

第４面

K = 0

A_4 = 1.0720 $\times 10^{-7}$

A_6 =-1.7234 $\times 10^{-8}$

A_8 = 1.1880 $\times 10^{-9}$

A_{10}=-3.1276 $\times 10^{-11}$

【００６２】

実施例２

ｆ＝44.95mm, F_{NO}＝10.0, f_B＝47.33mm, ω＝26.7°

r_1 = ∞（絞り） d_1 = 5.3
r_2 = -37.350 d_2 = 6.0 n_{d1} =1.49241 ν_{d1} =57.66
r_3 = -15.49698 d_3 = 0 n_{d2} =1001 ν_{d2} =-3.45
r_4 = -15.49653 （回折面）
非球面係数
第４面
K = 0
A_4 = 1.5193 $\times 10^{-8}$
A_6 =-9.3462 $\times 10^{-10}$
A_8 = 2.2678 $\times 10^{-11}$
A_{10}=-1.8027 $\times 10^{-13}$

【００６５】
以上の各実施例のｆ、f_D、f_D／ｆ＝（１）、ｄ、ｄ／ｆ＝（２）、r_A、r_B、（$r_A - r_B$）／（$r_A + r_B$）＝（４）の値を下記の表に示す。

	実施例１	実施例２
ｆ	28.13	44.95
f_D	256.9719	533.5565
（１）	9.14	11.87
ｄ	3.4	6
（２）	0.121	0.133
r_A	-8.78033	-15.49698
r_B	-17.405	-37.35
（４）	-0.33	-0.41

【００６６】
以上説明した本発明の回折型光学素子を有するレンズ系は、例えば次のように構成することができる。
〔１〕　１枚の正レンズと絞りを有する光学系において、該正レンズは両面共に曲率を有し、その少なくとも１面が回折面にて構成されていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。
【００６７】
〔２〕　下記条件式を満たすことを特徴とする上記〔１〕記載の回折型光学素子を有するレンズ系。
$3 < f_D / f < 30$ ・・・（１）
ただし、f_D は前記回折面の焦点距離、ｆはレンズ系全系の焦点距離である。
【００６８】
〔３〕　前記正レンズは絞りと反対側の面が回折面にて構成され、下記の条件式を満足することを特徴とする上記〔１〕記載の回折型光学素子を有するレンズ系。
$3 < f_D / f < 15$ ・・・（１）’
ただし、f_D は前記回折面の焦点距離、ｆはレンズ系全系の焦点距離である。
【００６９】

〔４〕　１枚の正レンズと絞りを有する光学系において、該正レンズは少なくとも１面の回折面を有しており、下記条件式を満足することを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

$3 < f_D / f < 30$　　・・・（１）

$0.075 < d / f < 0.15$　　・・・（２）

ただし、f_D は前記回折面の焦点距離、ｆはレンズ系全系の焦点距離、ｄは前記正レンズの厚みである。

【００７０】

〔５〕　前記正レンズは前記絞りに対して凹面を向けたメニスカスレンズであることを特徴とする上記〔１〕から〔４〕の何れか１項記載の回折型光学素子を有するレンズ系。

【００７１】

〔６〕　前記正レンズは低吸湿な樹脂材料にて構成されていることを特徴とする上記〔１〕から〔４〕の何れか１項記載の回折型光学素子を有するレンズ系。

【００７２】

〔７〕　前記正レンズはガラス材料にて構成され、その表面に薄い樹脂層が形成されており、その樹脂面上に回折面が構成されていることを特徴とする上記〔１〕から〔４〕の何れか１項記載の回折型光学素子を有するレンズ系。

【００７３】

〔８〕　前記正レンズはガラス材料にて構成され、その表面に直接回折面が形成されていることを特徴とする上記〔１〕から〔３〕の何れか１項記載の回折型光学素子を有するレンズ系。

【００７４】

〔９〕　１枚の正レンズと絞りを有する光学系において、該正レンズは絞りに対し凹面を向けたメニスカスレンズであり、その少なくとも１面が回折面にて構成されていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

【００７５】

〔１０〕　１枚の正レンズと絞りを有する光学系において、該正レンズは両面共に曲率を有し、その少なくとも１面が回折面にて構成されており、カメラ撮影用であることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

【００７６】

〔１１〕　上記〔１〕、〔９〕又は〔１０〕において、回折型光学素子は以下条件式を満たすことを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

$3 < f_D / f < 30$　　・・・（１）

ただし、f_D は回折面の焦点距離、ｆはレンズ系全系の焦点距離である。

【００７７】

〔１２〕　上記〔１〕から〔１１〕の何れか１項において、回折型光学素子は以下の条件式を満たすことを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

$45 < \nu_D$　　・・・（３）

ただし、ν_D は回折光学素子の基材のアッベ数である。

【００７８】

〔１３〕　上記〔１〕から〔１２〕の何れか１項において、回折型光学素子は下記条件式を満たすことを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

$-0.5 < (r_A - r_B) / (r_A + r_B) < -0.1$　　・・・（４）

ただし、回折型光学素子の基材において、r_A は屈折力の強い面の曲率半径であり、r_B は屈折力の弱い面の曲率半径である。

【００７９】

〔１４〕　上記〔１〕から〔１２〕の何れか１項において、物体側から順に、正レンズと絞りにて構成されていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

【００８０】

〔１５〕　上記〔１〕から〔１２〕の何れか１項において、物体側から順に、絞りと正レ

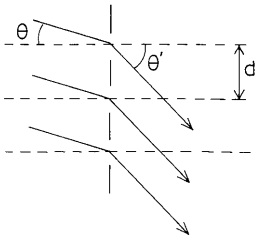
ンズにて構成されていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。
【００８１】
〔１６〕　上記〔１〕から〔１２〕の何れか１項において、前記回折面は軸上色収差を補正過剰な状態にするように構成されていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。
【００８２】
〔１７〕　上記〔１〕において、レンズと絞りは十分に離れていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。
【００８３】
〔１８〕　上記〔１〕において、レンズと絞りは、コマ収差を適当に補正しつつ全画面の性能をバランス良く得られる程度に十分に離れていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。
【００８４】
〔１９〕　上記〔１〕において、レンズ面において、軸上光線と最大画角の軸外光線とが異なる光線高となるように絞りを配置してあることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。
【００８５】
〔２０〕　上記〔１〕において、絞りと反対側のレンズ面において、軸上の光束と最大画角の軸外の光束が分離するような位置に絞りが配置されていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。
【００８６】
〔２１〕　物体側から順に、１枚の正レンズと絞りにて構成される光学系において、該正レンズは少なくとも１面の回折面を有しており、下記条件式を満足することを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

$3 < f_D / f < 15$　　・・・（１）

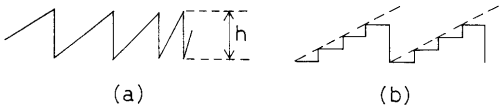
$0.075 < d / f < 0.15$　　・・・（２）

ただし、f_D は前記回折面の焦点距離、ｆはレンズ系全系の焦点距離、ｄは前記正レンズの厚みである。
【００８７】
【発明の効果】
以上の説明から明らかなように、本発明の電子カメラに用いているレンズ系は、単レンズながら、回折面を適切に配置することで、従来の屈折レンズでは実現不可能な高性能を達成できた。その結果、白色光下で用いられる電子カメラを高仕様なものとすることができる。
【図面の簡単な説明】
【図１】　回折格子の回折作用を説明するための図である。
【図２】　位相変調型回折型光学素子の断面形状を示す図である。
【図３】　色収差の補正に関して説明するための図である。
【図４】　実施例１のレンズ系の断面図である。
【図５】　実施例２のレンズ系の断面図である。
【図６】　本発明において用いる回折面の具体的な形状を例示する断面図である。
【符号の説明】
２１…透明部
２２…不透明部
２３…高屈折率部
２４…低屈折率部

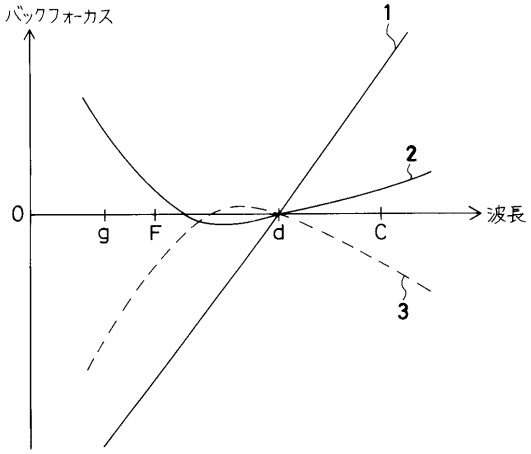
【図１】



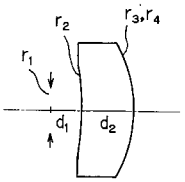
【図２】



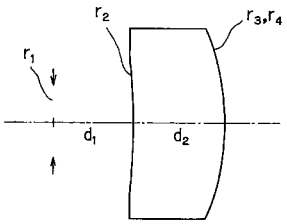
【図３】



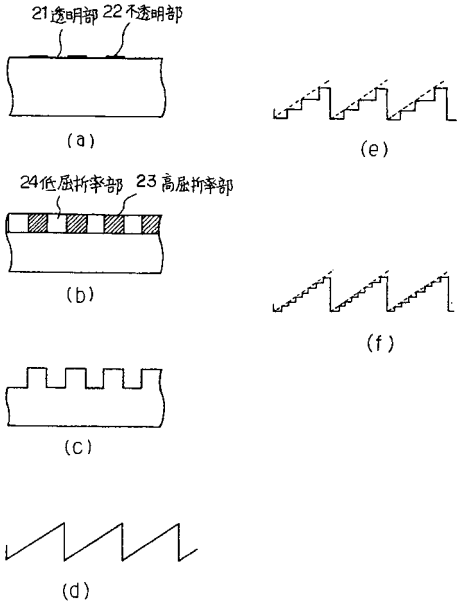
【図４】



【図５】



【図６】



フロントページの続き

(74)代理人 100091971
弁理士 米澤 明
(72)発明者 小方康司
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号オリンパス光学工業株式会社内

審査官 森内 正明

(56)参考文献 国際公開第９５／０１８３９３（WO，Ａ１）
特開平 ６－３３１８８７（ＪＰ，Ａ）
特開平 ６－ ５９１８８（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－ ９０５９６（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
G02B 9/00 - 17/08
G02B 21/02 - 21/04
G02B 25/00 - 25/04
G02B 27/42