(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第4242862号
(P4242862)

(45)発行日　平成21年3月25日(2009.3.25)　(24)登録日　平成21年1月9日(2009.1.9)

(51)Int.Cl.　　F I
G02B 3/14 (2006.01)　　G02B 3/14
G02F 1/13 (2006.01)　　G02F 1/13　505

請求項の数 32　(全 39 頁)

(21)出願番号　特願2005-264495 (P2005-264495)
(22)出願日　平成17年9月12日 (2005.9.12)
(62)分割の表示　特願平8-56454の分割
原出願日　平成8年3月13日 (1996.3.13)
(65)公開番号　特開2006-18325 (P2006-18325A)
(43)公開日　平成18年1月19日 (2006.1.19)
審査請求日　平成17年10月12日 (2005.10.12)

(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　100076233
弁理士　伊藤　進
(72)発明者　西岡　公彦
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号　オリンパス株式会社内

審査官　森口　良子

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光学特性可変光学素子及び光学特性可変光学素子を備えた表示装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子において、
前記液晶は、少なくとも

式 $\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right|<1$ 、 式 $\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right|<\frac{\pi}{6}$ 、 式 $\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right|<\frac{\pi}{2}$ 、

のいずれか１つを満たすことを特徴とする光学特性可変光学素子。
ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは

$$\Gamma = 2\pi(n_e - n_0)\frac{d}{\lambda} \quad 、$$

であって、ｎｅ　は液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎ０　は液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは

$$\Phi = \frac{2\pi d}{P} \quad 、$$

であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く。
【請求項２】
　Ｐ・ｎ'が、用いる光の波長の範囲外にあることを特徴とする請求項１に記載の光学特性可変光学素子。
ただし、ｎ'は

$$n' = \frac{n_e + n_0}{2} \quad 、$$

Ｐは液晶のねじれのピッチである。
【請求項３】
　前記光学特性可変光学素子は、前記液晶の焦点距離を可変させる可変焦点レンズであることを特徴とする請求項１に記載の光学特性可変光学素子。
【請求項４】
　前記光学特性可変光学素子は、前記液晶の透過光量を可変させる絞りであることを特徴とする請求項１に記載の光学特性可変光学素子。
【請求項５】
　前記光学特性可変光学素子は、前記液晶の透過光の透過方向を可変させるプリズムであることを特徴とする請求項１に記載の光学特性可変光学素子。
【請求項６】
　前記１対の部材の一方が回折部材であって、
　前記光学特性可変光学素子は、前記液晶の屈折率を可変させることで前記回折部材の回折効率を変化させる回折素子であることを特徴とする請求項１に記載の光学特性可変光学素子。
【請求項７】
　１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子において、
　前記液晶は、少なくとも

式　$\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right| < 1$　、　式　$\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right| < \frac{\pi}{6}$　、　式　$\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right| < \frac{\pi}{2}$　、

のいずれか１つを満たし、
前記光学特性可変光学素子は、前記液晶の焦点距離を可変させる可変焦点レンズであり、以下の条件（３１）を満たすことを特徴とする光学特性可変光学素子。

２μ＜ｄ＜３００μ　（３１）
ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは

$$\Gamma = 2\pi(n_e - n_0)\frac{d}{\lambda}$$ 、

であって、ｎｅ　は液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎ０　は液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは

$$\Phi = \frac{2\pi d}{P}$$ 、

であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く。
【請求項８】
　請求項１乃至７のいずれか１つに記載の光学特性可変光学素子を備えた表示装置。
【請求項９】
　１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子を備えた表示装置において、
　前記液晶は、少なくとも

式　$\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right| < 1$ 、　式　$\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right| < \frac{\pi}{6}$ 、　式　$\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right| < \frac{\pi}{2}$ 、

　のいずれか１つを満たすことを特徴とする表示装置。
ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは

$$\Gamma = 2\pi(n_e - n_0)\frac{d}{\lambda}$$ 、

であって、ｎｅ　は液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎ０　は液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは

$$\Phi = \frac{2\pi d}{P}$$ 、

であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く。

【請求項１０】
Ｐ・ｎ'が、用いる光の波長の範囲外にあり、前記液晶がカイラルコレステリック液晶あるいはカイラルスメクチック液晶であることを特徴とする請求項８または９のいずれかに記載の表示装置。
ただし、ｎ'は

$$n' = \frac{n_e + n_0}{2} \quad 、$$

である。
【請求項１１】
前記回折素子が、式　Ｗ・θ＝ｍ・λを満たす請求項６に記載の光学特性可変光学素子。
ただし、Ｗはフルネルレンズ形状の輪帯の巾、θはフルネルレンズ形状の輪帯での屈折角、ｍは回折次数（整数）、λは入射光の波長。
【請求項１２】
前記回折素子が、式　Ｗ・θ＝ｍ・λ、

$$式 \quad 0.25 \cdot \frac{m_1 \lambda}{n' - n_g} < h < 5 \cdot \frac{m_1 \lambda}{n' - n_g} \quad 、$$

$$式 \quad 0.25 \cdot \frac{m_2 \lambda}{n_0 - n_g} < h < 5 \cdot \frac{m_2 \lambda}{n_0 - n_g} \quad 、$$

式　m1≠m2を満たすことを特徴とする請求項６に記載の光学特性可変光学素子。
ただし、ｎ'は

$$n' = \frac{n_e + n_0}{2} \quad 、$$

Ｗはフルネルレンズ形状の輪帯の巾、θはフルネルレンズ形状の輪帯での屈折角、ｍは回折次数（整数）、λは入射光の波長、m1　、m2は回折次数（整数）、ｈは、前記輪帯の鋸歯状凹凸の高さ、ｎｇ　は液晶を封入する空間を形成する一対の部材の入射側の部材がレンズであって、液晶が接する該レンズの面が凹凸を有するフルネルレンズ形状としたときの該レンズの屈折率。
【請求項１３】
前記絞りが、式　０．８ｎｏ＜ｎ＜１．３ｎｏ　または

$$式 \quad \sin(90° - \beta) > \frac{n}{n'} \quad 、$$

を満たすことを特徴とする請求項４に記載の光学特性可変光学素子。
ただし、ｎはのこぎり刃形状の凹凸面を有する透明部材の屈折率、βは光軸に対する鋸歯状面の傾斜角。
【請求項１４】
前記光学特性可変光学素子が前記液晶の透過光量を可変させる絞りであって、前記絞りが、式　０．８ｎｏ＜ｎ＜１．３ｎｏ　または

式 $\sin(90°-\beta) > \frac{n}{n'}$ 、

を満たすことを特徴とする請求項９乃至１０のいずれか１つに記載の表示装置。
ただし、ｎはのこぎり刃形状の凹凸面を有する透明部材の屈折率、βは光軸に対する鋸歯状面の傾斜角。
【請求項１５】
前記光学特性可変光学素子が前記液晶の透過光量を可変させる絞りであって、前記絞りが、式 Ｗ・θ＝ｍ・λを満たすことを特徴とする請求項４に記載の光学特性可変光学素子。
ただしＷはフルネルレンズ形状の輪帯の巾、θはフルネルレンズ形状の輪帯での屈折角、ｍは回折次数（整数）、λは入射光の波長。
【請求項１６】
前記１対の部材の一方が回折部材であって、
前記光学特性可変光学素子は、前記液晶の焦点距離を可変させることで前記回折部材の回折効率を変化させる回折素子であり、前記回折素子が、式 ｎｏ＜ｎ または式 ０．９ｎ'＜ｎ＜１．２ｎ'を満たすことを特徴とする請求項９乃至１０のいずれか１つに記載の表示装置。
ただし、ｎ'は

$$n' = \frac{n_e + n_0}{2} \quad 、$$

ｎ０ は液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｎは液晶を封入する空間を形成する一対の部材が透明部材であって、出射側の透明部材の液晶が接する面がのこぎり刃形状の凹凸を有し回折光学素子を形成しているときの、該出射側の透明部材の屈折率。
【請求項１７】

式 $\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right| < 1$ 、 式 $\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right| < \frac{\pi}{6}$ 、 式 $\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right| < \frac{\pi}{2}$ 、

のいずれか１つを満たすことを特徴とする透過光量可変な光学特性可変光学素子。
ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは

$$\Gamma = 2\pi(n_e - n_0)\frac{d}{\lambda} \quad 、$$

であって、ｎｅ は液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎ０ は液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは

$$\Phi = \frac{2\pi d}{P}$$ 、

であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く。
【請求項１８】
１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子において、
前記液晶は、少なくとも
式｜Γ／２φ｜＜１、
式｜Γ／２φ｜＜π／６、
式｜Γ／２φ｜＜π／２、
のいずれか一つを満たすことを特徴とする光学特性可変光学素子。
ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは
Γ＝２π（ｎｅ－ｎｏ）ｄ／λ
であって、ｎｅは液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎｏは液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは、
φ＝２πｄ／Ｐ
であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く、
であり、
前記光学特性可変光学素子は撮像装置の対物レンズとして用いられるものである。
【請求項１９】
撮像装置であって、
対物レンズと、被写体像を撮像する撮像素子とを備え、
前記対物レンズは、
一対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子を含み、
前記液晶は、少なくとも
式｜Γ／２φ｜＜１、
式｜Γ／２φ｜＜π／６、
式｜Γ／２φ｜＜π／２、
のいずれか一つを満たすことを特徴とする撮像装置。
ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは
Γ＝２π（ｎｅ－ｎｏ）ｄ／λ
であって、ｎｅは液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎｏは液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは、
φ＝２πｄ／Ｐ
であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く、
である。

【請求項２０】
一対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子において、
前記液晶は、少なくとも
式｜Γ／２φ｜＜１、
式｜Γ／２φ｜＜π／６、
式｜Γ／２φ｜＜π／２、
のいずれか一つを満たすことを特徴とする光学特性可変光学素子。
ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは
Γ＝２π（ｎｅ－ｎｏ）ｄ／λ
であって、ｎｅは液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎｏは液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは、
φ＝２πｄ／Ｐ
であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く、
であり、
前記光学特性可変光学素子は撮像装置のズーミングに用いられるものである。
【請求項２１】
１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子において、
前記液晶は、少なくとも
式｜Γ／２φ｜＜１、
式｜Γ／２φ｜＜π／６、
式｜Γ／２φ｜＜π／２、
のいずれか一つを満たすことを特徴とする光学特性可変光学素子。
ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは
Γ＝２π（ｎｅ－ｎｏ）ｄ／λ
であって、ｎｅは液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎｏは液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは、
φ＝２πｄ／Ｐ
であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く、
であり、
前記光学特性可変光学素子は撮像装置のフォーカシングに用いられるものである。
【請求項２２】
前記撮像装置は、２つの前記光学特性可変光学素子を備え、これらの光学特性可変光学素子によりフォーカシングとズーミングを行う請求項２０に記載の撮像装置。
【請求項２３】
１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子において、
前記一対の部材の面に前記液晶が存在する側の面に透明電極を有しており、

前記液晶は、少なくとも
式｜Γ／２φ｜＜１、
式｜Γ／２φ｜＜π／６、
式｜Γ／２φ｜＜π／２、
のいずれか一つを満たすことを特徴とする光学特性可変光学素子。
ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは
Γ＝２π（ｎｅ－ｎｏ）ｄ／λ
であって、ｎｅは液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎｏは液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは、
φ＝２πｄ／Ｐ
であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く、
である。
【請求項２４】
１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子において、
前記一対の部材の前記液晶が存在する側の面に配向膜を有しており、
前記液晶は、少なくとも
式｜Γ／２φ｜＜１、
式｜Γ／２φ｜＜π／６、
式｜Γ／２φ｜＜π／２、
のいずれか一つを満たすことを特徴とする光学特性可変光学素子。
ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは
Γ＝２π（ｎｅ－ｎｏ）ｄ／λ
であって、ｎｅは液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎｏは液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは、
φ＝２πｄ／Ｐ
であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く、
である。
【請求項２５】
１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子において、
前記物理的作用は電場の印加であり、
前記液晶分子は長軸と短軸を有していて、前記電場が印加された際に前記液晶分子の長軸が前記電場とほぼ並行となり、
前記液晶は、少なくとも
式｜Γ／２φ｜＜１、
式｜Γ／２φ｜＜π／６、
式｜Γ／２φ｜＜π／２、
のいずれか一つを満たすことを特徴とする光学特性可変光学素子。
ただし、

Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは
　Γ＝２π（ｎｅ－ｎｏ）ｄ／λ
であって、ｎｅは液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎｏは液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは、
　φ＝２πｄ／Ｐ
であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く、
である。
【請求項２６】
　１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子において、
　前記液晶は、
　式｜Γ／２φ｜＜１、
　式｜Γ／２φ｜＜π／６、
　式｜Γ／２φ｜＜π／２、
のいずれか一つを満足し、
　前記空間の一方の表面は、光の進行方向で見て輪帯状、且つ断面が鋸歯状の回折格子として形成され、
　前記輪帯の鋸歯状凹凸の高さをｈ、前記輪帯を形成した部材の屈折率をｎｇとするとき、以下の条件を満足する。
　式（３８）、（３９）ａｎｄ（４０）

$$式\quad 0.25\cdot\frac{m_1\lambda}{n'-n_g}<h<5\cdot\frac{m_1\lambda}{n'-n_g}\quad 、$$

$$式\quad 0.25\cdot\frac{m_2\lambda}{n_0-n_g}<h<5\cdot\frac{m_2\lambda}{n_0-n_g}\quad 、$$

　m1 ≠m2　　（４０）
ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは
　Γ＝２π（ｎｅ－ｎｏ）ｄ／λ
であって、ｎｅは液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎｏは液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは、
　φ＝２πｄ／Ｐ
であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く、
であり、
ｎ’は
　ｎ’＝（ｎｏ＋ｎｅ）／２
ｍ１，ｍ２はＷ・θ＝ｍ・λを満足する整数（Ｗは輪帯の幅、θはその輪帯での光の屈折角）
である。
【請求項２７】

１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子において、
前記液晶は、
式｜Γ／２φ｜＜１、
式｜Γ／２φ｜＜π／６、
式｜Γ／２φ｜＜π／２、
のいずれか一つを満足し、
前記光学特性可変光学素子は、絞りであり、
前記空間は、光軸を含む中心部分を除く周辺部に形成され、
前記空間の一方の表面は、光の進行方向で見て光軸に対して回転対称、且つ断面が鋸歯状に形成され、
前記鋸歯状面を形成した部材の屈折率をｎ９３とするとき、以下の条件を満足する。
式（４１）ａｎｄ（４２）
０．８ｎｏ＜ｎ93＜１．３ｎｏ　　（４１）

$$\text{式}\quad \sin(90^\circ-\beta) > \frac{n}{n'}\quad 、$$

ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは
Γ＝２π（ｎｅ－ｎｏ）ｄ／λ
であって、ｎｅは液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎｏは液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは、
φ＝２πｄ／Ｐ
であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く、
であり、
βは光軸に対する鋸歯状面の傾斜角、
ｎ’は
ｎ’＝（ｎｏ＋ｎｅ）／２
である。
【請求項２８】
１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子において、
前記液晶は、
式｜Γ／２φ｜＜１、
式｜Γ／２φ｜＜π／６、
式｜Γ／２φ｜＜π／２、
のいずれか一つを満足し、
前記光学特性可変光学素子は、絞りであり、
前記空間は、光軸を含む中心部分を除く周辺部に形成され、
前記空間の一方の表面は、光の進行方向で見て光軸に対して回転対称、且つ断面が鋸歯状の回折格子として形成され、
前記鋸歯状面を形成した部材の屈折率をｎ１０２とするとき、以下の条件を満足する。
式（４３）ａｎｄ（４４）
ｎｏ＜ｎ102　　（４３）

０．９ｎ’＜ｎ102＜１．２ｎ’　　（４４）
ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは
Γ＝２π（ｎｅ－ｎｏ）ｄ／λ
であって、ｎｅは液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎｏは液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは、
φ＝２πｄ／Ｐ
であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く、
であり、
ｎ’は
ｎ’＝（ｎｏ＋ｎｅ）／２
である。
【請求項２９】
前記輪帯の鋸歯状凹凸の高さをｈ、前記輪帯を形成した部材の屈折率をｎｇとするとき、
更に以下を満足する請求項２８の光学特性可変光学素子。
式（３８）、（３９）ａｎｄ（４０）

$$式\quad 0.25\cdot\frac{m_1\lambda}{n'-n_g}<h<5\cdot\frac{m_1\lambda}{n'-n_g}\quad 、$$

$$式\quad 0.25\cdot\frac{m_2\lambda}{n_0-n_g}<h<5\cdot\frac{m_2\lambda}{n_0-n_g}\quad 、$$

m1 ≠m2　　（４０）
ただし、ｍ１，ｍ２はＷ・θ＝ｍ・λを満足する整数、Ｗは輪帯の幅、θはその輪帯での光の屈折角。
【請求項３０】
前記空間は光軸を含む中心部も含めて全面に形成されており、
前記輪帯の鋸歯状凹凸の高さをｈ、前記輪帯を形成した部材の屈折率をｎｇとするとき、
更に以下を満足する請求項２８の光学特性可変光学素子。
式［（３８）ｏｒ（３９）］ａｎｄ（４０）

$$式\quad 0.25\cdot\frac{m_1\lambda}{n'-n_g}<h<5\cdot\frac{m_1\lambda}{n'-n_g}\quad 、$$

$$式\quad 0.25\cdot\frac{m_2\lambda}{n_0-n_g}<h<5\cdot\frac{m_2\lambda}{n_0-n_g}\quad 、$$

m1 ≠m2　　（４０）
ただし、ｍ１，ｍ２はＷ・θ＝ｍ・λを満足する整数、Ｗは輪帯の幅、θはその輪帯での光の屈折角。
【請求項３１】
１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液

晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子において、
前記液晶は、
式｜Γ／２φ｜＜１、
式｜Γ／２φ｜＜π／６、
式｜Γ／２φ｜＜π／２、
のいずれか一つを満足し、
前記光学特性可変光学素子は、回折光学素子であり、
前記一対の部材の一方は鋸歯状の凹凸を持つ透明部分であり、
前記鋸歯状凹凸の高さをｈ、前記鋸歯状の凹凸を持つ透明部分の屈折率をｎｇとするとき、以下の条件を満足する。
式（３８）、（３９）、ａｎｄ（４０）

$$式\quad 0.25\cdot\frac{m_1\lambda}{n'-n_g}<h<5\cdot\frac{m_1\lambda}{n'-n_g}\quad 、$$

$$式\quad 0.25\cdot\frac{m_2\lambda}{n_0-n_g}<h<5\cdot\frac{m_2\lambda}{n_0-n_g}\quad 、$$

$$m1\neq m2\qquad（４０）$$

ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは
Γ＝２π（ｎｅ－ｎｏ）ｄ／λ
であって、ｎｅは液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎｏは液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは、
φ＝２πｄ／Ｐ
であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く、
であり、
ｎ’は
ｎ’＝（ｎｏ＋ｎｅ）／２
ｍ１，ｍ２はＷ・θ＝ｍ・λを満足する整数（Ｗは輪帯の幅、θはその輪帯での光の屈折角）
である。
【請求項３２】
１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させるディスプレイにおいて、
前記一対の部材の一方には多数の個別透明電極とカラーフィルタが設けられており、
前記一対の部材の他方には、前記個別電極に対応して形成された鋸歯状の凹凸を持つ透明部材であり、
前記一方の部材を挟んで前記他方の透明部材の反対側には光源または反射板が設けられていることを特徴とし、
前記液晶が、
式｜Γ／２φ｜＜１、
式｜Γ／２φ｜＜π／６、
式｜Γ／２φ｜＜π／２、

のいずれか一つを満足するディスプレイ。
ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは
　Γ＝２π（ｎｅ－ｎｏ）ｄ／λ
であって、ｎｅは液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎｏは液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは、
　φ＝２πｄ／Ｐ
であって、Ｐ＜λを満足する範囲を除く、
であり、
ｎ’は
　ｎ’＝（ｎｏ＋ｎｅ）／２
である。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は光学特性可変光学素子、更に詳しくは光学特性を変化させる光学特性可変光学素子及び光学特性可変光学素子を備えた表示装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
ズームレンズあるいは撮像装置のピント合せでは、通常レンズを機械的に移動することが行なわれている。
【０００３】
しかし、レンズ系の全体、あるいは一部を移動することは、超小型であることが要求される電子内視鏡やマイクロマシンの眼等では不可能であり、また、テレビカメラ、電子スチルカメラや銀塩フィルムカメラ等でも、軽量化、コストダウンのためには、レンズ系を移動させずにズーム、ピント合わせができることが望ましい。
【０００４】
そこで、従来より、これらの課題をレンズの移動を行なわずに解決する手段として、例えば特開平５－３４６５６号公報や特開平４－３４５１２４号公報に、可変焦点レンズが提案されている。
【０００５】
例えば特開平５－３４６５６号公報に提案されている可変焦点レンズ２０１は、図２９に示すように、液晶分子の長軸を３６０°捩ったカイラルネマチック液晶２０２を、内側に透明電極膜２０３をそれぞれ被膜させた平板ガラス２０４とフネネルンズ基板２０５との間に配向膜２０６を介して挟み、シール材２０７により封止した構成となっている。
【０００６】
このような構成の可変焦点レンズ２０１において、電源２０８をスイッチ２０９によりＯＮにし配向膜２０６間に電場を与えると、カイラルネマチック液晶２０２は、図３０に示すように、ホメオトロピック配向となり、入射光の偏光に対して等方的で、かつカイラルネマチック液晶２０２の屈折率は、図２９の状態に比べて低いか、あるいは偏光の方向によっては等しい状態になる。
【０００７】
図２９の状態で、入射光の偏光方向と入射側のカイラルネマチック液晶２０２の液晶分子２１０の長軸（図２９の楕円体の長い方向）が等しい場合には、カイラルネマチック液晶２０２の屈折率は高くなり、入射光の偏光方向と入射側の液晶分子の短軸方向とが一致している場合には、カイラルネマチック液晶２０２の屈折率は低くなる。
【０００８】

なぜならば、この例では、カイラルネマチック液晶２０２の捩れのピッチＰは１０μ～３０μであって、光の波長λ（可視光ならおよそ０．４μ～０．７μ）に比べてはるかに大きいため、左方から入射した光は、液晶分子の捩れに習って偏光が回転して進む。この理由は、例えば「吉野勝美、尾崎雅則　共著；液晶とディスプレイ応用の基礎Ｐ９１～Ｐ９３；コロナ社」（以下、文献１と記す）に示されているので説明は省略する。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００９】

従って、入射側の液晶分子の長軸方向の偏光に対しては図２９の可変焦点レンズ２０１の焦点距離は短かく、また、入射側の液晶分子の短軸方向の偏光に対しては図２９の可変焦点レンズ２０１の焦点距離は長くなってしまい、従来の可変焦点レンズ２０１は２重焦点レンズとなり、ボヤけた像しか結像せず、目的とする可変焦点レンズを実現できない欠点がある。

【００１０】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、構造が簡単で、光量損出が少なく低電圧により駆動可能でボケが生じることなく、光学特性を変化させる光学特性可変光学素子及び光学特性可変光学素子を備えた表示装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【００１１】

本発明の光学特性可変光学素子は、１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子において、

前記液晶は、少なくとも

式 $\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right|<1$ 、 式 $\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right|<\frac{\pi}{6}$ 、 式 $\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right|<\frac{\pi}{2}$ 、

のいずれか１つを満たすことを特徴とする光学特性可変光学素子。

【００１２】

ただし、

Ｐは液晶のねじれのピッチ、

λは入射光の波長、

Γは

$$\Gamma = 2\pi(n_e - n_0)\frac{d}{\lambda} \quad 、$$

であって、ｎｅ　は液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎ０　は液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、

φは

$$\Phi = \frac{2\pi d}{P} \quad 、$$

である。

【００１３】

本発明の光学特性可変光学素子を備えた表示装置は、１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子を備えた表示装置において、

前記液晶は、少なくとも

式 $\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right|<1$ 、 式 $\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right|<\frac{\pi}{6}$ 、 式 $\left|\frac{\Gamma}{2\phi}\right|<\frac{\pi}{2}$ 、

のいずれか１つを満たすことを特徴とする表示装置。
ただし、
Ｐは液晶のねじれのピッチ、
λは入射光の波長、
Γは

$$\Gamma = 2\pi(n_e - n_0)\frac{d}{\lambda}$$ 、

であって、ｎｅ　は液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率、ｎ０　は液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率、ｄは液晶の厚さ、
φは

$$\Phi = \frac{2\pi d}{P}$$ 、

である。
【発明の効果】
【００１４】
本発明によれば、液晶が液晶を透過する光の波長に比べて小さい捻れピッチを持っているので、構造が簡単で、光量損出が少なく低電圧により駆動可能でボケが生じることなく、光学特性を変化させることができるという効果がある。
【発明を実施するための最良の形態】
【００１５】
以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。
【００１６】
図１ないし図１７は本発明の第１の実施の形態に係り、図１は可変焦点レンズの基本構成を示す構成図、図２は図１のカイラルネマテック液晶の分子の屈折率楕円体を示す図、図３は図１の可変焦点レンズの作用を説明する説明図、図４は図１の可変焦点レンズの具体的な構成を示す構成図、図５は図１の可変焦点レンズの第１の変形例に用いられるカイラルスメクチック液晶のカイラルスメクチックＣ相の液晶分子配列を示す図、図６は図５のカイラルスメクチック液晶を用いた可変焦点レンズの構成を示す構成図、図７は図６の可変焦点レンズの作用を説明する説明図、図８はカイラルコレステリック液晶を用いた図１の可変焦点レンズの第２の変形例の構成を示す構成図、図９は図８の可変焦点レンズの作用を説明する説明図、図１０は図８のカイラルコレステリック液晶の反射率の実測値を示す図、図１１はディスコチック液晶を用いた図１の可変焦点レンズの第２の変形例の構成を示す構成図、図１２は図１１の可変焦点レンズの作用を説明する説明図、図１３は図１１のディスコチック液晶の分子の屈折率楕円体を示す図、図１４は図１２のディスコチック液晶をＺ方向から見た時の第１の図、図１５は図１２のディスコチック液晶をＺ方向から見た時の第２の図、図１６は図１のカイラルネマテック液晶の配向を変化させるのに磁場を用いた可変焦点レンズの構成を示す構成図、図１７は図１のカイラルネマテック液晶の配向を変化させるのに温度変化を用いた可変焦点レンズの構成を示す構成図である。
【００１７】
図１に示すように、第１の実施の形態の光学特性可変光学素子としての可変焦点レンズ１は、カイラルネマテック液晶２を、内側に透明電極膜３をそれぞれ被膜させた平板ガラス４とレンズ５との間に配向膜６を介して挟み、シール材７により封止した構成が基本構

成となっており、カイラルネマテック液晶２の捩れのピッチＰは、光の波長λに比べ非常に小さいものとする。つまり、

［数１］

Ｐ＜＜λ　　（１）

である。このように、ピッチＰが光の波長λに比べて非常に小さいと、レンズ５は入射光の偏光によらず、屈折率ｎ’をもつレンズとして作用する。

【００１８】

［数２］

$$n' = \frac{n_e + n_0}{2} \quad , \qquad (2)$$

ここで、ｎｅは液晶分子長軸方向の偏光に対する屈折率

ｎｏは液晶分子短軸方向の偏光に対する屈折率

であり、図２にカイラルネマテック液晶２の入射側の液晶分子に対応する屈折率楕円体を示す。ここで、ｘ軸及びｚ軸は、液晶分子の短軸方向、ｙ軸は液晶分子の長軸方向になっている。なお、ｎｅ＞ｎｏとする。

【００１９】

次に、ジョーンズのベクトルと行列によって、なぜ、本実施の形態のカイラルネマテック液晶２が実効的に屈折率ｎ’の等方的な媒質としてふるまうのかを、以下に説明する。

【００２０】

上記文献１のＰ８５～９２、に示される、式３．１０７と式３．１１０及び式３．１２６によれば、絶対的な位相の変化ｅｘｐ（－ｉα）を含めた時、図１に示した厚さｄのカイラルネマテック液晶２に対するジョーンズの行列Ｗｔは、

［数３］

$$W_t = e^{-i\alpha} R(-\Phi) \begin{pmatrix} \cos X - i\frac{\Gamma}{2}\frac{\sin X}{X} & \Phi\frac{\sin X}{X} \\ -\Phi\frac{\sin X}{X} & \cos X + i\frac{\Gamma}{2}\frac{\sin X}{X} \end{pmatrix} \qquad (3)$$

で与えられる。ただし、

［数４］

$$\Phi = \frac{2\pi d}{P} \quad , \qquad (4)$$

［数５］

$$\Gamma = 2\pi(n_e - n_0)\frac{d}{\lambda} \quad , \qquad (5)$$

［数６］

$$\alpha = 2\pi\frac{(n_e + n_0)}{2}\frac{d}{\lambda} \qquad (6)$$

［数７］

$$X=\sqrt{\Phi^2+\frac{\Gamma^2}{2}} \qquad (7)$$

［数８］

$$R(-\Phi)=\begin{pmatrix}\cos\Phi & -\sin\Phi\\ \sin\Phi & \cos\Phi\end{pmatrix} \qquad (8)$$

である。

【００２１】

ここで、常光を液晶分子の短軸方向の偏光と定義し、異常光を液晶分子の長軸方向の偏光、又は、長軸を光軸に垂直な平面へ投影した時の方向の偏光と定義すると、Γはカイラルネマテック液晶２による常光と異常光の位相差を表わす。

【００２２】

なお、Φはカイラルネマテック液晶２の液晶分子の捩れ角をラジアンで表わしたものである。また、式（３）、式（８）の座標系は、図１に示すｘ，ｙ，ｚ軸のように取るものとする。つまり、ｘ軸は紙面の表から裏側へ向っており、ｙ軸はカイラルネマテック液晶２の入射面での液晶分子長軸の方向である。

【００２３】

さて、式（１）の条件のもとで、式（３）のWtがどのようになるかを調べてみる。

【００２４】

まず、式（１）は、

［数９］

$$0<\frac{P}{\lambda}<<1 \qquad (9)$$

と変形できる。そこで、Ｐ／λ→０の時、式（３）のWtの極限値WtLを求めてみる。

【００２５】

［数１０］

$$\frac{\Gamma}{\Phi}=2\pi(n_e-n_0)\frac{P}{\lambda} \qquad (10)$$

であるから、Ｐ／λ＜＜１のとき

［数１１］

$$\left|\frac{\Gamma}{\Phi}\right|<<1 \qquad (11)$$

となり、Ｐ／λ→０のとき｜Γ／Φ｜→０となる。

【００２６】

式（１１）の条件のもとで

［数１２］

$$X=\Phi\sqrt{(1+\frac{\Gamma^2}{2\Phi^2})}\fallingdotseq\Phi+\frac{\Gamma^2}{4\Phi} \qquad (12)$$

［数１３］

$$\cos X \fallingdotseq \cos(\Phi + \frac{\Gamma^2}{4\Phi}) \qquad (13)$$

［数１４］

$$\frac{\Gamma}{2}\frac{\sin X}{X} \fallingdotseq \frac{\Gamma}{2}\frac{\sin(\Phi + \frac{\Gamma^2}{4\Phi})}{\Phi + \frac{\Gamma^2}{4\Phi}} \qquad (14)$$

［数１５］

$$\Phi\frac{\sin X}{X} \fallingdotseq \frac{\sin(\Phi + \frac{\Gamma^2}{4\Phi})}{1 + \frac{\Gamma^2}{4\Phi^2}} \qquad (15)$$

と近似でき、Ｐ／λ→０のとき、それぞれ、

［数１６］

Ｘ→Φ　　（１６）

［数１７］

ｃｏｓＸ→ｃｏｓΦ　　（１７）

［数１８］

$$\frac{\Gamma}{2}\frac{\sin X}{X} \to 0 \qquad (18)$$

［数１９］

$$\Phi\frac{\sin X}{X} \to \sin\Phi \qquad (19)$$

となるので、Ｐ／λ→０のとき

［数２０］

$$W_{tL} \to e^{-i\alpha} R(-\Phi)\begin{pmatrix} \cos\Phi & \sin\Phi \\ -\sin\Phi & \cos\Phi \end{pmatrix} = e^{-i\alpha}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \qquad (20)$$

となる。これは屈折率ｎ’＝（ｎｅ＋ｎｏ）／２、厚さｄの、光軸に沿って等方な媒質のジョーンズ行列にほかならない。

【００２７】

従って、Ｐ／λ＜＜１であるので、図１の可変焦点レンズ１は、屈折率ｎ’のレンズとして作用し、ボケのない結像が実現できる。

【００２８】

また、図１の可変焦点レンズ１において、交流電源８をスイッチ９によりＯＮにし、配向膜６間に電場を与えると、カイラルネマテック液晶２は、図３のように配列し、液晶は屈折率ｎｏの等方媒質となるので、図１の状態と比べて、焦点距離の異なる液晶レンズとなり、ボケのない可変焦点レンズが実現できるのである。

【００２９】

次に、上記の可変焦点レンズ１の具体的な構成例を図４を用いて説明する。図４に示すように、可変焦点レンズ１は、具体的には、可変抵抗２１により電圧を連続的に可変にした構成になり、液晶分子の配列を、上記の図１と図３の中間にもってくることができるように構成する。これにより、焦点距離が連続的に変化する液晶レンズを実現できる。

【００３０】

なお、図４のような中間の配列の場合においても、ｎeの値を、ｎeとｎoのある中間の値である異常光の屈折率ｎｅ’で置きかえることで、上記の式（３）～式（２０）は満たされる。

【００３１】

なお、図４のように構成することで、電圧の印加のしかたとしては、連続可変に限らず、いくつかの離散的な電圧値から印加電圧を選択するようにしても、可変焦点レンズが実現できる。

【００３２】

ここで、図４のように構成した可変焦点レンズ１の実際的な例について、詳細に説明する。

【００３３】

式（２０）にはＰ／λ→０の極限の場合が示されているが、実際の液晶レンズ、可変焦点レンズでは必ずしも極限値があてはまらない場合もあるので、式（３）の近似式を導いてみる。

【００３４】

式（３）をＰ／λの１次までを考えて近似すると、次のようになる。つまり、式（１２）～式（１４）で、Ｐ／λの１次まで、すなわち式（１０）より、Γ／Φの１次までを残しＰ／λの２次以上、Γ／Φの２次以上を省略すると、

［数２１］

$$\cos X - i\frac{\Gamma}{2}\frac{\sin X}{X} \fallingdotseq \cos(\Phi + \frac{\Gamma}{4}\frac{\Gamma}{\Phi}) - i\frac{\Gamma}{2\Phi}\sin(\Phi + \frac{\Gamma}{4}\frac{\Gamma}{\Phi}) \qquad (21)$$

［数２２］

$$\Phi\frac{\sin X}{X} \fallingdotseq \sin(\Phi + \frac{\Gamma}{4}\frac{\Gamma}{\Phi}) \qquad (22)$$

となり

［数２３］

$$W_t \fallingdotseq e^{-i\alpha} R(-\Phi)\begin{pmatrix} \cos(\Phi + \frac{\Gamma}{4}\frac{\Gamma}{\Phi}) - i\frac{\Gamma}{2\Phi}\sin(\Phi + \frac{\Gamma}{4}\frac{\Gamma}{\Phi}) & \sin(\Phi + \frac{\Gamma}{4}\frac{\Gamma}{\Phi}) \\ -\sin(\Phi + \frac{\Gamma}{4}\frac{\Gamma}{\Phi}) & \cos(\Phi + \frac{\Gamma}{4}\frac{\Gamma}{\Phi}) + i\frac{\Gamma}{2\Phi}\sin(\Phi + \frac{\Gamma}{4}\frac{\Gamma}{\Phi}) \end{pmatrix}$$

$$\equiv W_{tN} \qquad (23)$$

を得る。従って、ＷtNの値が等方媒質のジョーンズ行列とほぼ等しいと見なせるためには、｜ｉ・Γ／２Φ｜が０に近ければよい。この時ＷtNは、

［数２４］

$$e^{-i\alpha}\begin{pmatrix}\cos(\frac{\Gamma}{4}\frac{\Gamma}{\Phi}) & \sin(\frac{\Gamma}{4}\frac{\Gamma}{\Phi})\\ -\sin(\frac{\Gamma}{4}\frac{\Gamma}{\Phi}) & \cos(\frac{\Gamma}{4}\frac{\Gamma}{\Phi})\end{pmatrix} \qquad (24)$$

に近づくが、この式は、液晶が入射光の偏光方向はΓ／４・Γ／Φだけ回転するが、等方媒質であると見なせることを意味している。

【００３５】

［数２５］

$$\left|i\frac{\Gamma}{2\Phi}\right| \fallingdotseq 0 \qquad (25)$$

つまり、

［数２６］

$$\left|\frac{\Gamma}{2\Phi}\right| << 1 \qquad (26)$$

であれば、ボケのない可変焦点レンズが得られる。式（１０）より

［数２７］

$$\frac{\Gamma}{2\Phi} = \pi(n_e - n_0)\frac{P}{\lambda} \qquad (27)$$

となる。

【００３６】

実際のレンズ付撮像装置、例えば電子カメラ、ＶＴＲカメラ、電子内視鏡などの、比較的低コストの製品等のレンズに本発明の可変焦点レンズを用いる場合、固体撮像素子の画素数が少なく、高解像を要求しない場合もあるので、式（２６）は条件をゆるめることができ、

［数２８］

$$\left|\frac{\Gamma}{2\Phi}\right| < 1 \qquad (28)$$

であれば良い。

【００３７】

画素数の多い電子撮像装置のレンズ、フィルムカメラ、顕微鏡などの高画質の製品等のレンズでは高解像が要求されるので、

［数２９］

$$\left|\frac{\Gamma}{2\Phi}\right| < \frac{\pi}{6} \qquad (29)$$

であればよい。

【００３８】

光ディスクのレンズ等結像に用いないレンズの場合、条件はさらにゆるめられ、

［数３０］

$$\left|\frac{\Gamma}{2\Phi}\right| < \frac{\pi}{2} \qquad (30)$$

であればよい。

【００３９】

なお、本実施の形態に共通して言えることであるが、液晶がらせん状の配列の時、液晶分子の長軸方向が光軸に対して垂直でない時、つまり斜めの時は、式（１）、式（２６）～式（３０）のｎｅを上記のｎｅ’で置きかえればよい。

【００４０】

以下に、いくつかの設計例を上げる。

【００４１】

カイラルネマテック液晶２の厚さｄは、薄いとレンズのパワーが弱く役に立たないし、厚いと光を散乱、フレアの原因となるので、

［数３１］

２μ＜ｄ＜３００μ　　（３１）

ぐらいが適当である。光の波長λの例としては可視光を考えれば、

［数３２］

０．３５μ＜λ＜０．７μ　　（３２）

である。

【００４２】

ｎｅ－ｎｏの値は液晶の物性で決まるが、

［数３３］

０．０１＜｜ｎｅ－ｎｏ｜＜０．４　　（３３）

ぐらいの物質が多い。そこで、第１の設計例として、

ｄ＝１５μ

λ＝０．５μ

ｎｅ－ｎｏ＝０．２

Ｐ＝０．０５μ

とすれば、

Γ／２Φ＝π・０．２×０．０５／０．５＝０．０２π

となり、式（２６）、式（２８）、式（２９）、式（３０）を満たす。

【００４３】

第２の設計例として、

ｄ＝３０μ

λ＝０．６μ

ｎｅ－ｎｏ＝０．２５

Ｐ＝０．３μ

とすれば、

Γ／２Φ＝π・０．３×０．２５／０．６＝０．１２５π

となり、式（２６）、式（２８）、式（２９）、式（３０）を満たす。

【００４４】

また、第３の設計例として

ｄ＝５０μ

λ＝０．５５μ

ｎｅ－ｎｏ＝０．２

Ｐ＝０．６μ

とすれば、

Γ／２Φ＝π・０．２×０．６／０．５５＝０．２１８π

となり、式（２８）、式（３０）を満たす。

【００４５】

さらに、第４の設計例として、近赤外光用の可変焦点レンズを考え、

ｄ＝２００μ

λ＝０．９５μ

ｎｅ－ｎｏ＝０．２

Ｐ＝０．７μ

とすれば

Γ／２Φ＝π・０．２×０．７／０．９５＝０．１４５８π

となり、式（２６）、式（２８）、式（２９）、式（３０）を満たす。

【００４６】

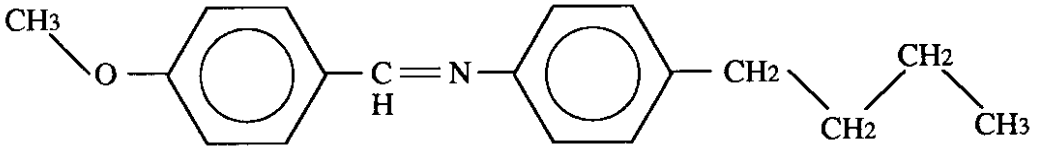
以上の各設計例では、カイラルネマチック液晶を例にとって説明したが、カイラルネマチック液晶のらせんのピッチを、用いる光の波長よりも小さくするためには、カイラル剤を液晶に混ぜると良い。

【００４７】

カイラル剤としては、コレステリック液晶又は合成品の光学活性化合物などが用いられる。以下の化学式（１）、化学式（２）にカイラルネマチック液晶の例を、化学式（３）、化学式（４）にカイラル剤の例を示す。

【００４８】

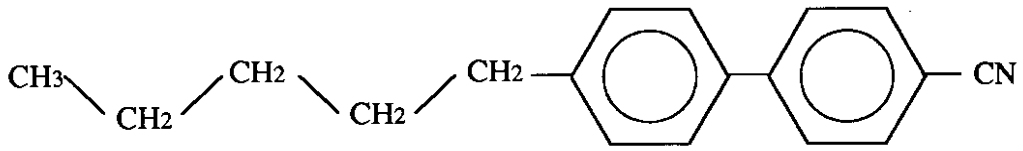
［化１］



N-(4-methoxybenzylidene)-4'-n-butylaniline
(MBBA,22～47℃)

化学式（１）

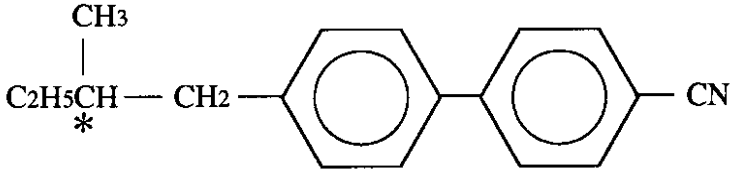
［化２］



4-cyano-4'-n-pentylbiphenyl
(CB-5,22.5～35℃)

化学式（２）

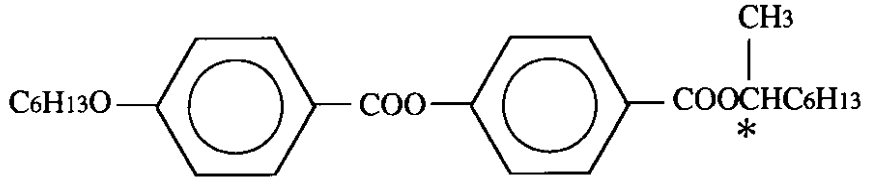
［化３］



(BDH社　CB-15)

化学式（３）

［化４］



(Merck社　S811)

化学式（４）

以上の説明において、可変焦点レンズ１に用いる液晶としては、カイラルネマチック液晶２を用いて説明したが、本実施の形態はこれに限らず、可変焦点レンズの第１の変形例として、図５に示すようなカイラルスメクチック液晶３１を用いて構成することができる。この図５は、カイラルスメクチックＣ相の液晶分子配列を示したもので、これを用いた可変焦点レンズ１ａの構造を図６に示す。

【００４９】

図６に示すように、カイラルスメクチック液晶３１では、電圧を加えない場合には液晶分子は各層３１ａごとに特定の方向を向き、その方向が一定の周期Ｐで回転している。

【００５０】

これに電圧を印加すると、各層の液晶分子は、図７のように、座標系のＺ軸方向に配列し、カイラルスメクチック液晶３１の屈折率は、図６の状態のｎ’から、ｎoに低下し、可変焦点レンズ１の焦点距離が変化する。

【００５１】

この図５～７に示した第１の変形例についても、式（１）～式（３０）はあてはまり、特に式（２６）、式（２８）、式（２９）、式（３０）を満せばボケの少ない可変焦点レンズが得られる。また、図６の構成においても、カイラルスメクチック液晶３１に加わる電圧は連続的に変えることができ、それに伴って焦点距離も連続的に変る。

【００５２】

ここで、カイラルスメクチック液晶３１を用いた可変焦点レンズ１ａの設計例を示すと、パラメータとして、

ｄ＝２５μ

λ＝０．５５μ

ｎｅ－ｎｏ＝０．３

Ｐ＝０．１μ

とすると、

Γ／２Φ＝π・０．３×０．１／０．５５＝０．０５４５π

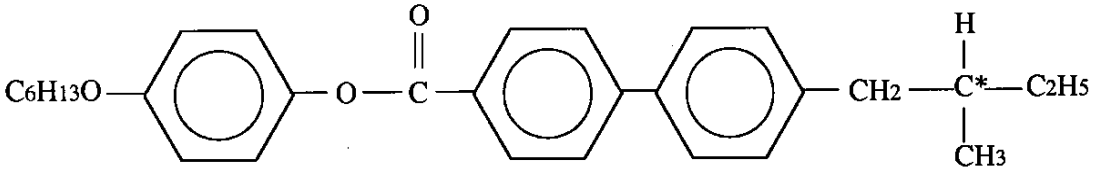
となり、式（２６）、式（２８）、式（２９）、式（３０）を満たす。

【００５３】

なお、化学式（５）に、スメクチック液晶３１の分子構造の１例である「４－（ｎ－ヘキシルオキシ）フェニルオキシ－４”－（２－メテルブチル）ビフェニル－４’－カルボキシレート」を示した。なお、ピッチＰはおよそ０．２μである。

【００５４】

［化５］



4-(n-ヘキシルオキシ)フェニルオキシ-4"-(2-メチルブチル)ビフェニル-4'-カルボキシレート

化学式（５）

また、可変焦点レンズの第２の変形例として、図８に示すように、カイラルコレステリッ

ク液晶４１を用いた可変焦点レンズ１ｂを構成することができる。

【００５５】

カイラルコレステリック液晶４１では、液晶分子の配向方向は各層でレンズ表面に平行で方位角が周期Ｐで、Ｚ軸方向にらせんを描いて変る。この状態で式（１）～式（３０）があてはまる。

【００５６】

電圧が加わると、液晶分子の配向が図９のようにらせんが無くなり、焦点距離が変化する。

【００５７】

なお、カイラルコレステリック液晶には選択反射の性質があり、波長λｓ＝Ｐｎ’近傍の右または左の円偏光を全反射してしまう。図１０は、自然偏光に対するカイラルコレステリック液晶の反射率の実測値の例を示している。

【００５８】

従って、波長λsは、可変焦点レンズ１ｂで用いる光の波長範囲外にあることが望ましい。つまり、Ｐｎ’が、可変焦点レンズ１ｂを利用する光の波長域外にあることが、さらに透過率の良い、着色のない液晶レンズを得るために必要である。

【００５９】

可視光であれば、

［数３４］

$$Pn' < 0.4\mu \qquad (34)$$

であることが必要である。

【００６０】

なお、上述した第１の変形例である図５のカイラルスメチックＣ相の液晶でも選択反射は生じる場合があり、上記の理由で式（３４）は図５の例にも適用される。

【００６１】

カイラルコレステリック液晶４１を用いた可変焦点レンズ１ｂの設計例として、

$d = 15\mu$

$ne - no = 0.4$

$\lambda = 0.45\mu$

$P = 0.01\mu$

$n' = 1.7$

とすると、

$\Gamma / 2\Phi = \pi \cdot 0.4 \times 0.01 / 0.45 = 0.0089\pi$

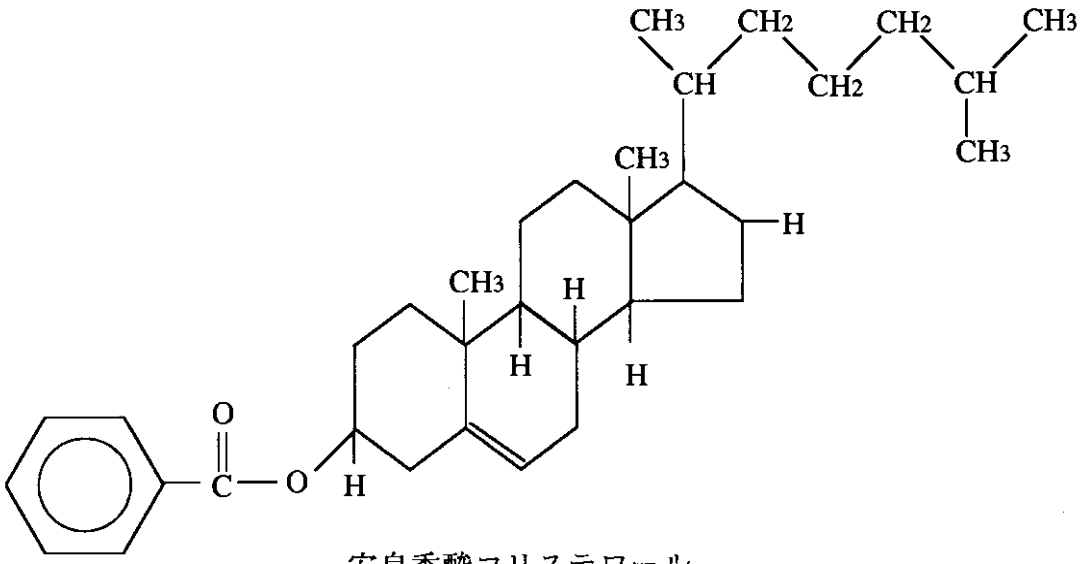
となり、式（２６）、式（２８）、式（２９）、式（３０）を満たし、Ｐｎ’＝０．０１７μであるから、式（３４）も満たしている。

【００６２】

化学式（６）はカイラルコレステリック液晶の１例で、安息香酸コレステロールの化学式である。

【００６３】

［化６］



安息香酸コリステロール

化学式（６）

また、可変焦点レンズの第３の変形例として、図１１に示ように、ディスコチック液晶５１を用いてもよく、電圧が加わると、図１２のようにディスコチック液晶５１の配向が変り、凸レンズとしての焦点距離が長くなる。つまり、ディスコチック液晶５１は、図１３に示す屈折率楕円体のように、負の１軸性結晶であるので、凸レンズとしての焦点距離が長くなるのである。

【００６４】

なお、この場合、図１２をＺ方向から見た時、ディスコチック液晶５１の分子の配列が図１４又は図１５のように一つの方向を向いていないならば、図１２の状態で、液晶の配列はらせんを描かなくてもよい。従って、式（１）～式（３０）は満さなくてもよい。

【００６５】

本実施の形態並びに各変形例及び後述する他の実施の形態で述べる可変焦点レンズに共通して言えることであるが、らせんのピッチＰが、用いる光の波長λに比べて小さいことが、ボケのより少ない可変焦点レンズを得るためにより望ましいことであり、たとえば可視光の場合、０．４μ＜λ＜０．７μで使用する光学装置では、

［数３５］

０．０００１μ＜Ｐ＜０．４μ　　（３５）

が望ましい条件となる。さらに充分ボケを減らすためには

［数３６］

０．０００１μ＜Ｐ≦０．２μ　　（３６）

であることが望まれる。Ｐの下限は液晶分子自体の大きさから決っている。

【００６６】

また、本実施の形態並びに各変形例では、各液晶の配向を変化させるのに、電場を用いてきたが、これに限らず、図１６に示すように、コイル５５及び鉄芯５６を用いて、例えばカイラルコレステリック液晶４１に磁場Ｈを印加し、これを変化させても良い。なお、図１６はカイラルコレステリック液晶４１の可変焦点レンズの例であるが、カイラルネマチック液晶２あるいはカイラルスメクチック液晶３１の可変焦点レンズに適用してもよい。

【００６７】

また、各液晶の配向を変化させるのに、図１７に示すように、ヒータ５８を用いて温度の変化によって、例えばカイラルコレステリック液晶４１の配向を変えるようにしてもよく、これまで述べた他の液晶、カイラルネマチック液晶２あるいはカイラススメクチック液晶３１等の可変焦点レンズにも適用できる。この構成では、温度を変えることによって、液晶に相転移を生じさせ、レンズの焦点距離を変えるようになっている。なお、レンズ

をフレネルレンズ６０として、液晶の厚さを増加させずに、可変焦点レンズのパワーをかせいでいる。ここで、フレネルレンズ６０及びレンズ５は用途に応じ非球面形状としても良い。

【００６８】

図１８は本発明の第２の実施の形態に係る可変焦点レンズの構成を示す構成図である。

【００６９】

第２の実施の形態は、第１の実施の形態とほとんど同じであるので、異なる点のみ説明し、同一の構成には同じ符号をつけ説明は省略する。

【００７０】

第２の実施の形態は、回折光学素子（ＤＯＥあるいはＨＯＥとも呼ばれる）を液晶で作り、可変焦点レンズとしたものである。

【００７１】

図１８に示すように、第２の実施の形態の可変焦点レンズ６１は、カイラルネマテック液晶２を、内側に透明電極膜３をそれぞれ被膜させたレンズ６２と平行ガラス６３との間に配向膜６を介して挟み、シール材７により封止した構成となっている。

【００７２】

レンズ６２はフレネルレンズ状であるが、凹凸部は光の波長のレベルで、レンズ６２のひとつの輪帯の巾Ｗは、

［数３７］

Ｗ・θ＝ｍ・λ　　（３７）

で決る。ここで、θはその輪帯での光線の屈折角、ｍは回折次数である。

【００７３】

カイラルネマテック液晶２の屈折率を電圧の印加によって変えると、回折の次数が変わるので、不連続的に可変焦点レンズ６１の焦点距離を変えることができる。

【００７４】

つまり、ある輪帯のギザギザの高さをｈとし、レンズ６２の屈折率をｎgとすれば、

［数３８］

$$0.25\cdot\frac{m_1\lambda}{n'-n_g}<h<5\cdot\frac{m_1\lambda}{n'-n_g}\qquad(38)$$

［数３９］

$$0.25\cdot\frac{m_2\lambda}{n_0-n_g}<h<5\cdot\frac{m_2\lambda}{n_0-n_g}\qquad(39)$$

［数４０］

ｍ1 ≠ｍ2　　（４０）

となる。

【００７５】

ただし、ｍ1 、ｍ2 は互いに異なる整数とおく時、ｈ、ｍ1 、ｍ2 、ｎ’、ｎo、ｎgが式（３８）～式（４０）を満すならば、可変焦点レンズ６１は、次数ｍ1 とｍ2 とで回折効率の最適化された回折光学素子となる。

【００７６】

焦点距離は、スイッチ９のＯＮ、ＯＦＦにより、ｆ1 ／ｍ1 、ｆ1 ／ｍ2 にかわる。ここでｆ1 は、１次の回折光学素子の焦点距離である。なお、実用的には式（３８）、式（３９）は近似的に満されていればよい。

【００７７】

以下に、上記の各実施の形態及びその各変形例の応用例について説明する。

【００７８】

図１９に示すように、上記の各実施の形態及びその各変形例の可変焦点レンズを用いた第１の装置としての電子内視鏡７１は、被写体に照射する照明光を伝送するライトガイド７２からの照明光を照明レンズ７３により被写体に照射し、被写体像を対物レンズ７４を介して入射する。そして、可変焦点レンズ７５を絞り７６近傍に配置し、光学レンズ７７によりＣＣＤ７８の結像面に結像させ、信号処理装置７９により信号処理しモニタ８０に被写体像を表示させる構成となっている。この構成では、可変焦点レンズ７５は、ピント調整のために用いられ、オートフォーカス機能を備えた電子内視鏡を実現している。

【００７９】

また、上記の実施の形態及びその各変形例の可変焦点レンズを用いた第２の装置は、図２０に示すように、対物レンズ８１によりＣＣＤ８２が被写体像を撮像し、信号処理装置８３で信号処理しモニタ８４に被写体像を表示させる撮像装置８９であって、対物レンズ８１とＣＣＤ８３との間に絞り８８を介して２つの可変焦点レンズ８５、８６を設け、この焦点距離を連動して変化させることによりズーミングと、ピント合せの両方を実現するものである。これらは実際には電子カメラ、ＴＶカメラ等に用いられ、可変焦点レンズ８５、８６の駆動は制御回路８７によってピントを合せつつ、ズーミングするよう行われる。

【００８０】

なお、図２０では可変焦点レンズ８５、８６は、それぞれ凹、凸レンズの場合を示しているが、凸凸、又は凸凹、凹凹のレンズの組合わせでもよい。

【００８１】

図２１は、式（１）を満す液晶の別の応用例で、光学系の絞り９１に用いた例である。

【００８２】

この絞り９１は、式（１）を満す液晶であるカイラルネマテック液晶２を封止する透明な材質からなる透明部材９２、９３により挟まれた構造になっていて、透明部材９３は液晶に接する部分の断面形状がのこ切り状または３角になっている。また、絞り９１は光軸に対して回転対称な形状である。

【００８３】

図２１において、左右から絞り９１の中心に入射した光線ａはそのまま通過するが、周辺部に入射した光線ｂはカイラルネマテック液晶２と透明部材９３との境界面で全反射して側方に曲げられ、絞り９１を透過することができず、絞り９１を絞った状態である。

【００８４】

図２２は、絞り９１に電圧を加えた状態で、カイラルネマテック液晶２はホメオトロピック配向になるので、光線ｂは透明部材９３とカイラルネマテック液晶２との境界面で全反射することなく直進し、図２１に比べ絞りの有効径が広がった状態にある。なお、透明部材９３の屈折率をｎ93とする時

［数４１］

０．８no＜n93＜１．３no　　（４１）

であれば、図２２の状態で光線ｂはほぼ直進する。

【００８５】

図２１の状態で光線ａが全反射するための条件は、図示の角をβとするとき、

［数４２］

$$\sin(90^\circ - \beta) > \frac{n_{93}}{n'} \qquad (42)$$

である。

【００８６】

また、カイラルネマテック液晶２は式（１）のかわりに、実用的には式（２６）又は式（２８）又は式（２９）又は式（３０）を満たせばよい。

【００８７】

なお、液晶としては、カイラルネマテック液晶２以外に、上述したカイラルスメクチッ

ク液晶３１、カイラルコレテリック液晶４１、ディスクチック液晶５１、さらには高分子中に液晶を分散させた高分子分散液晶やポリマー液晶等も用いることができる。カイラルスメクチック液晶３１又はカイラルコレテリック液晶４１の場合には、式（３４）も満すとなお良い。また、どの液晶にも共通していえるが、式（３５）、式（３６）も満すとさらに良い。

【００８８】

図２３はカイラルネマテック液晶２を用いた第２の絞り１０１の例である。図２１の絞り９１と異なるのは、透明部材９３に代わる透明部材１０２の周辺がＤＯＥ（回折光学素子）になっていることで、透明部材１０２の周辺は、高さが使用する光の波長λ程度の、のこぎり刃形状をしていることである。

【００８９】

図２３の状態では

［数４３］

$$no < n102 \qquad (43)$$

なので、周辺部の光ｂ１、ｂ２は外側へ回折によって曲げ、光吸収性物質１０３で吸収され絞り１０１より後方へは伝送されない。なお、ｎ102は透明部材１０２の屈折率である。

【００９０】

図２３は電圧をＯＦＦにした時の状態であるため液晶がカイラルネマチックの配列で

［数４４］

$$0.9n' < n102 < 1.2n' \qquad (44)$$

であるため、ｂ１、ｂ２はおよそ直進し、実質的に絞りが開いた状態として動作する。

【００９１】

ＤＯＥの形状としては、式（３７）で屈折角θが決まり、回折効率を上げて、絞りとしての動作をさらに向上させるためには、式（３８）～式（４０）を満たすとなお良い（ただし、ｎｇをｎ102で置き換える）。

【００９２】

液晶としては、カイラルネマチック液晶２以外に、上述したカイラルスメクチック液晶３１、カイラルコレステリック液晶４１、ディスコチック液晶５１、さらには高分子中に液晶を分散させた高分子分散液晶やポリマー液晶等も用いることができる。カイラルスメクチック液晶３１又はカイラルコレステリック液晶４１の場合には、式（３４）も満すとなお良い。

【００９３】

液晶は式（１）をみたす必要があるが、実用的には式（１）のかわりに、式（２６）又は式（２８）又は式（２９）又は式（３０）を満たせばよい。

【００９４】

また、透明部材９２もＤＯＥとすれば、より大きな屈折角が得られ、絞りとして高性能のものが得られる。

【００９５】

なお、絞り１０１に加える電圧は連続的に可変できるようにしてもよく、その場合、絞り１０１の周辺部の透過率が連続的に変化する絞りとなり便利である。

【００９６】

上記の絞り９１、１０１は、図１９の電子内視鏡７１の絞り７６や図２０の撮像装置８０の絞り８８等に用いることができる。電子内視鏡７１や撮像装置８０では必ず、電源が含まれるため、その電源を液晶素子用にも用いることができるので好都合である。

【００９７】

また、絞り１０１に於て、透明部材１０２の中央のＡ部を無しにして、全面のこぎり刃状の形状にすれば、光束径は変わらないが、光量を変化させることのできる絞りが得られる。透過光量可変な光学素子と類似の効果を持たせる場合には式（３８）又は式（３９）の一方は近似的に満されるのが良く、式（３８）と式（３９）とが同時に満されない方が

良い（なお、式（４０）は満す必要がある）。

【００９８】

なぜならば、たとえば式（３８）が完全にみたされ、式（３９）が不完全であるなら、次数m1 の光は図２３、２４のいずれの状態でも光量は異なるが、存在するので、次式m1 の光に対して絞り１０１は濃度可変フィルタとして動作するのである。

【００９９】

また、式（３８）、式（３９）が両方みたされる場合には、次式m1 又はm2 の光に対して、絞り１０１は光シャッタとして動作することになる。この場合でも図２３から図２４の状態に連続的に電圧を変えて行けば、式（３８）、式（３９）の中のneは連続的に変化するne’で置き変えられるので、透過光量可変な光学素子として動作させることができる（なお、式（２）を考慮する必要がある）。

【０１００】

図２５は式（１）、式（２６）、式（２８）、式（２９）、式（３０）のいずれかを満す液晶を用いた可変プリズム（あるいは可変光偏向器）１１１の一例である。

【０１０１】

この可変プリズム１１１では、図２５に示すように、クサビ状あるいはのこぎり刃状の透明部材１１２と透明部材１１３の間にカイラルネマテック液晶２が配置されている。たとえば、透明部材１１２の屈折率をカイラルネマテック液晶２の屈折率ｎ’と等しくしておけば、図２５の左右からの光は直進する。

【０１０２】

ここで電圧を可変プリズム１１１に加えると、図２６のように液晶の配列はホメオトロピックになり、カイラルネマテック液晶２の屈折率がnoに下るので、光は右上方へ屈折される。なお、電圧を連続可変にすれば光の屈折角が連続的に変るので便利である。

【０１０３】

液晶としては、カイラルネマチック液晶２以外に、上述したカイラルスメクチック液晶３１、カイラルコレテリック液晶４１、ディスクチック液晶５１、さらには高分子中に液晶を分散させた高分子分散液晶やポリマー液晶等も用いることができる。カイラルスメクチック液晶３１又はカイラルコレテリック液晶４１の場合には、式（３４）も満すとなお良い。

【０１０４】

のこぎり刃の形をこまかくして透明部材１１２を回折光学素子としても可変プリズムが得られる。この時、式（３７）を満すとよく、さらに式（３８）、式（３９）、式（４０）を満せば、絞りの効果の高い、光学素子が得られる（ただし、このときngは透明部材１１２の屈折率を表わす）。

【０１０５】

この可変プリズム１１１は、ブレ防止用に、電子カメラ、ＴＶカメラ、フィルムカメラ、双眼鏡等に用いることができる。

【０１０６】

ところで、上記の絞り９１、１０１及び可変プリズム１１１で用いた光線の空間変調の原理は、ディスプレイにも用いることができる。

【０１０７】

図２７は、式（１）又は式（２６）、式（２８）、式（２９）、式（３０）のいずれかを満す液晶を用いたディスプレイ１２１の例である。

【０１０８】

このディスプレイ１２１では、図２７に示すように、のこぎり刃状の形をした断面を持つ透明部材１２２と、透明部材１２３の間に液晶１２４が配置されている。透明部材１２２の屈折率はほぼｎ’に等しいとする。液晶１２４は、個別電極１２５により所望の画素に可変電圧が印加されるようになっており、ランプ１２６の光がカラーフィルタ１２７を介して、透明部材１２３、液晶１２４、透明部材１２２と順次透過するようになっている。

【０１０９】
このように構成したディスプレイ１２１においては、例えば、Ａの画素のように電圧のかかっていない画素では、液晶１２４の配列はツイストネマチック配向なので、ランプ１２５の光は直進するので、画素は明るく見える。
【０１１０】
また、Ｂの画素のように高い電圧がかかっている画素では、液晶１２４の配列はホメオトロピックになるので、ランプ１２５の光は透明部材１２２によって強く屈折され、人の眼には暗くみえる。
【０１１１】
Ｃの画素のように中間の電圧を加えると、ランプ１２５の光はＡとＢとの中間に屈折されるので、人の眼にはやや明るくみえる。通常のディスプレイのように偏光板を使用しないので明るいのが特徴である。
【０１１２】
図２８はランプ１２５のかわりに反射板１３１を用いた反射型のディスプレイ１３０の例である。
【０１１３】
反射型のディスプレイ１３０では、図２８に示すように、画素Ａのように電圧のかかっていない画素では入射光は反射されて明るく見える。また、画素Ｂでは電圧が印加されているため、入射光は屈折され、やがて吸収、散乱され暗くみえる。画素Ｃではその中間となる。
【０１１４】
これらの光の屈折力を可変するディスプレイの他、画素の明暗を実現するのに、上述した絞り９１のように全反射を用いるタイプ、絞り１０１のように回折光学素子を用いるタイプも考えられる。
【０１１５】
以上のディスプレイの例では用いる液晶は、カイラルネマテック液晶２以外に、カイラルスメクチック液晶３１、カイラルコレステリック液晶４１、ディスコチック液晶５１、さらには高分子中に液晶を分散させた高分子分散液晶やポリマー液晶等も用いることができる。
【０１１６】
ディスプレイに用いる液晶は式（１）、式（２６）、式（２８）、式（２９）、式（３０）いずれかを満すと良い。カイラルスメクチック液晶３１又はカイラルコレステリック液晶４１の場合には、式（３４）も満すとなお良い。
【０１１７】
以上述べた液晶を用いた、絞り回折光学素子、プリズム、表示装置に於て、用いられる光の波長が可視光の場合、式（３５）又は式（３６）を満すことで、より高性能のものが得られる。
【０１１８】
なお、上記各実施の形態で用いる液晶に、赤外線を吸収する物質をまぜて、赤外カットフィルタ効果を付与すると、可視光で用いる電子撮像系に用いる場合、赤外カットフィルタが省略でき、コスト低減、スペース削減で有利である。用いる光が可視光でない撮像系の場合は、非観察光をカットする物質を液晶に混ぜればフィルタを省略でき同様の効果が出る。
【０１１９】
上記各実施の形態での液晶を用いた可変特性を持つ光学素子においては、式（１）を満すのが理想ではあるが、現実の製品に用いる場合には、式（１）は必ずしも満されなくてもよく、それほど高精度を要求しない場合には、
［数４５］
$$P < \lambda \qquad (45)$$
であれば良い。

【０１２０】
また、やや高精度を望む場合には、
［数４６］
Ｐ＜λ／２　　（４６）
が満されるとなお良い。
【０１２１】
照明系、低コストの光学装置等では、
［数４７］
Ｐ＜２λ　　（４７）
でも実用になることがある。
【０１２２】
なお、ディスコチック液晶５１を用いた場合には式（４５）又は式（４６）又は式（４７）を満されなくてもよい場合もある。
【０１２３】
これまでの各実施の形態すべてについて、液晶としてはカイラルネマテック液晶２以外に、カイラルスメクチック液晶３１、カイラルコレステリック液晶４１、ディスコチック液晶５１、さらには高分子中に液晶を分散させた高分子分散液晶やポリマー液晶等も用いることができる。
【０１２４】
［付記］
（付記項１）　１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子において、
前記液晶は、前記液晶を透過する光の波長に比べて、小さい捻れピッチを持つ
ことを特徴とする光学特性可変光学素子。
【０１２５】
（付記項２）前記光学特性可変光学素子は、前記液晶の焦点距離を可変させる可変焦点レンズである
ことを特徴とする付記項１に記載の光学特性可変光学素子。
【０１２６】
（付記項３）前記光学特性可変光学素子は、前記液晶の透過光量を可変させる絞りである
ことを特徴とする付記項１に記載の光学特性可変光学素子。
【０１２７】
（付記項４）前記光学特性可変光学素子は、前記液晶の透過光の透過方向を可変させるプリズムである
ことを特徴とする付記項１に記載の光学特性可変光学素子。
【０１２８】
（付記項５）　前記１対の部材の一方が回折部材であって、
前記光学特性可変光学素子は、前記液晶の焦点距離を可変させることで前記回折部材の回折効率を変化させる回折素子である
ことを特徴とする付記項１に記載の光学特性可変光学素子。
【０１２９】
（付記項６）　１対の部材により形成される空間に液晶を封入し、外部からの物理的作用により前記液晶の液晶分子の配向状態を制御し、前記液晶の光学特性を変化させる光学特性可変光学素子を備えた表示装置において、
前記液晶は、前記液晶を透過する光の波長に比べて、小さい捻れピッチを持つ
ことを特徴とする表示装置。
【０１３０】
（付記項７）　式（２８）、式（２９）、式（３０）、式（４５）、式（４６）、式（４７）の少なくともひとつを満たす

ことを特徴とする付記項１乃至６のいずれか１つに記載の光学特性可変光学素子または表示装置。

【０１３１】

（付記項８）　前記液晶として、カイラルネマチック液晶、カイラルコレステリック液晶、カイラルスメクチック液晶、ポリマー液晶、高分子中に液晶を分散させた物、ディスコチック液晶のいずれかを用いた

ことを特徴とする付記項１乃至７のいずれか１つに記載の光学特性可変光学素子または表示装置。

【０１３２】

（付記項９）　Ｐ・ｎ’が、用いる光の波長より短く、前記液晶がカイラルコレステリック液晶あるいはカイラルスメクチック液晶である

ことを特徴とする付記項１乃至７のいずれか１つに記載の光学特性可変光学素子または表示装置。

【０１３３】

（付記項１０）　式（３５）または式（３６）を満たす

ことを特徴とする付記項１乃至９のいずれか１つに記載の光学特性可変光学素子または表示装置。

【０１３４】

（付記項１１）　式（３７）を満たす付記項６に記載の光学特性可変光学素子からなる回折光学素子。

【０１３５】

（付記項１２）　式（３７）、式（３８）、式（３９）、式（４０）を満たす付記項６に記載の光学特性可変光学素子からなる回折光学素子。

【０１３６】

（付記項１３）　式（４１）または式（４２）を満たす付記項３または付記項７乃至１０のいずれか１つに記載の光学特性可変光学素子からなる絞り。

【０１３７】

（付記項１４）　式（３７）を満たす付記項６乃至１０のいずれか１つに記載の光学特性可変光学素子からなる絞り。

【０１３８】

（付記項１５）　式（３７）、式（３８）、式（３９）、式（４０）を満たす付記項６乃至１０のいずれか１つに記載の光学特性可変光学素子からなる絞り。

【０１３９】

（付記項１６）　式（４３）または式（４４）を満たす付記項６乃至１０のいずれか１つに記載の光学特性可変光学素子からなる回折光学素子。

【０１４０】

（付記項１７）　ディスコチック液晶からなる特性可変の光学素子

（付記項１８）　前記外部からの物理的作用は、電場、磁場、温度の少なくとも一つを変化させる作用である

ことを特徴とする付記項１乃至１０のいずれか１つに記載の光学特性可変光学素子または表示装置。

【０１４１】

（付記項１９）　式（２８）、式（２９）、式（３０）、式（４５）、式（４６）、式（４７）の少なくとも１つを満たす透過光量可変な光学素子。

【０１４２】

（付記項２０）　式（３８）または式（３９）の少なくとも１つと、式（４０）を満たす付記項１９に記載の透過光量可変な光学素子。

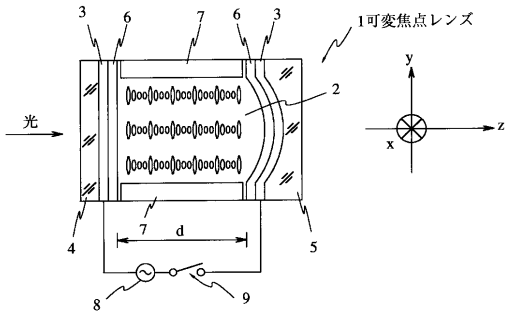
【０１４３】

（付記項２１）　付記項１から２０の光学素子を用いた電子撮像装置。

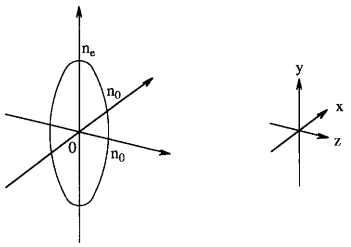
【０１４４】

（付記項２２）　付記項６から１０の光学素子を用いた反射型表示装置。
【図面の簡単な説明】
【０１４５】
【図１】本発明の第１の実施の形態に係る可変焦点レンズの基本構成を示す構成図
【図２】図１のカイラルネマテック液晶の分子の屈折率楕円体を示す図
【図３】図１の可変焦点レンズの作用を説明する説明図
【図４】図１の可変焦点レンズの具体的な構成を示す構成図
【図５】図１の可変焦点レンズの第１の変形例に用いられるカイラルスメクチック液晶のカイラルスメクチックＣ相の液晶分子配列を示す図
【図６】図５のカイラルスメクチック液晶を用いた可変焦点レンズの構成を示す構成図
【図７】図６の可変焦点レンズの作用を説明する説明図
【図８】カイラルコレステリック液晶を用いた図１の可変焦点レンズの第２の変形例の構成を示す構成図
【図９】図８の可変焦点レンズの作用を説明する説明図
【図１０】図８のカイラルコレステリック液晶の反射率の実測値を示す図
【図１１】ディスコチック液晶を用いた図１の可変焦点レンズの第２の変形例の構成を示す構成図
【図１２】図１１の可変焦点レンズの作用を説明する説明図
【図１３】図１１のディスコチック液晶の分子の屈折率楕円体を示す図
【図１４】図１２のディスコチック液晶をＺ方向から見た時の第１の図
【図１５】図１２のディスコチック液晶をＺ方向から見た時の第２の図
【図１６】図１のカイラルネマテック液晶の配向を変化させるのに磁場を用いた可変焦点レンズの構成を示す構成図
【図１７】図１のカイラルネマテック液晶の配向を変化させるのに温度変化を用いた可変焦点レンズの構成を示す構成図
【図１８】本発明の第２の実施の形態に係る可変焦点レンズの構成を示す構成図
【図１９】各実施の形態の可変焦点レンズを備えた第１の装置の構成を示す構成図
【図２０】各実施の形態の可変焦点レンズを備えた第２の装置の構成を示す構成図
【図２１】各実施の形態の可変焦点レンズを適用した第１の応用例の構成を示す構成図
【図２２】図２１の第１の応用例の作用を説明する説明図
【図２３】各実施の形態の可変焦点レンズを適用した第２の応用例の構成を示す構成図
【図２４】図２３の第２の応用例の作用を説明する説明図
【図２５】各実施の形態の可変焦点レンズを適用した第３の応用例の構成を示す構成図
【図２６】図２５の第３の応用例の作用を説明する説明図
【図２７】各実施の形態の可変焦点レンズを適用した第４の応用例の構成を示す構成図
【図２８】各実施の形態の可変焦点レンズを適用した第５の応用例の構成を示す構成図
【図２９】従来の可変焦点レンズの構成を示す構成図
【図３０】図２９の可変焦点レンズの作用を説明する説明図
【符号の説明】
【０１４６】
１…可変焦点レンズ
２…カイラルネマテック液晶
３…透明電極膜
４…平板ガラス
５…レンズ
６…配向膜
７…シール材
８…交流電源
９…スイッチ
２１…可変抵抗

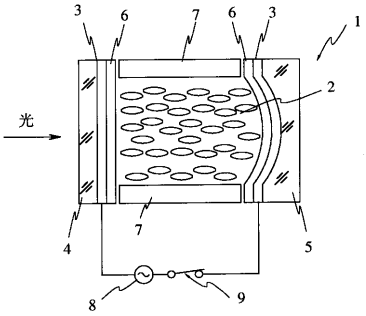
【図１】



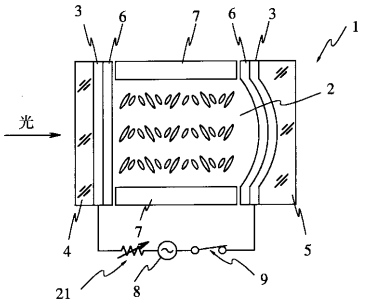
【図２】



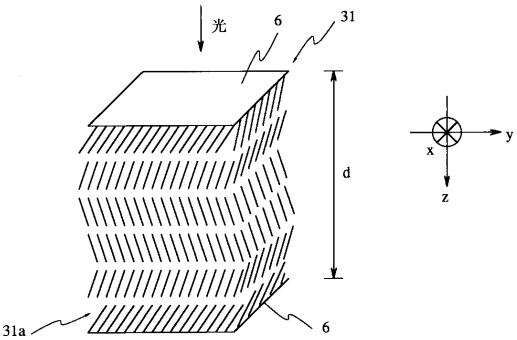
【図３】



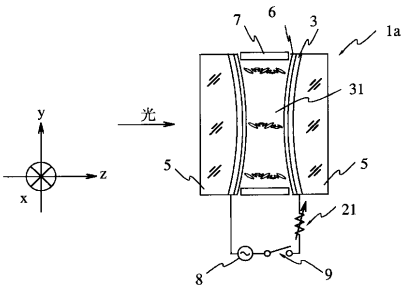
【図４】



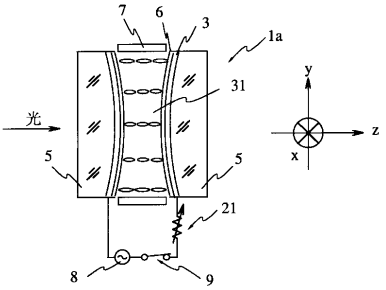
【図５】



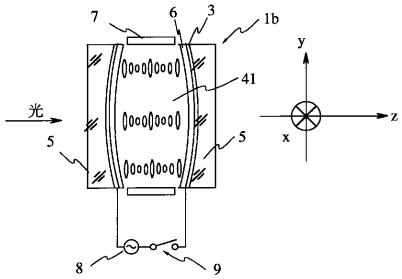
【図６】



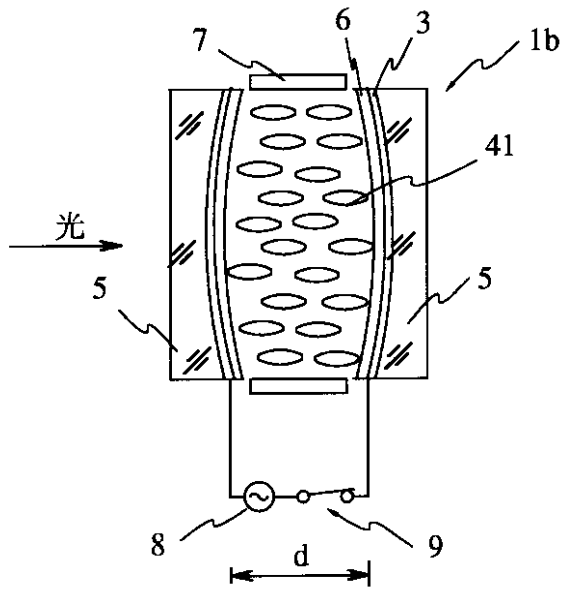
【図７】



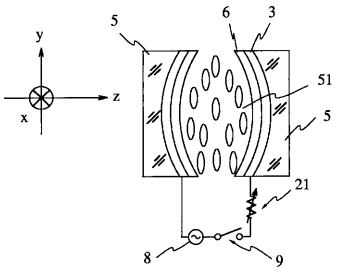
【図８】



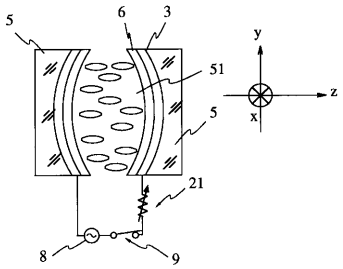
【図９】



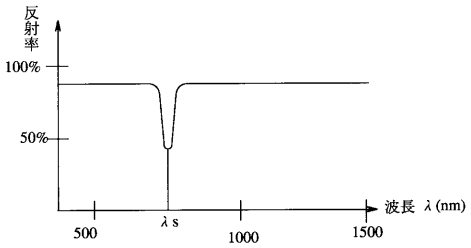
【図１１】



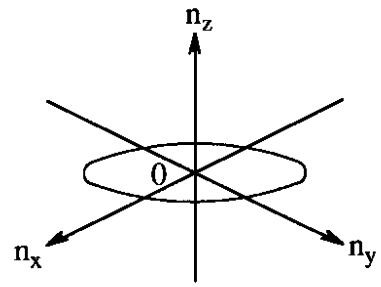
【図１２】



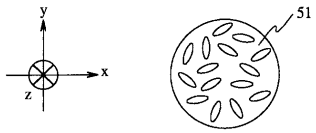
【図１０】



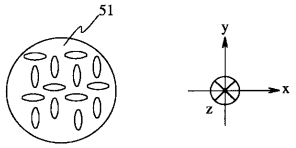
【図１３】



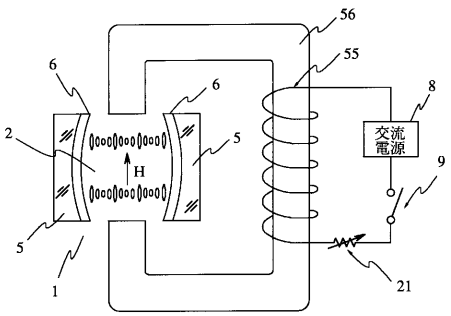
【図１４】



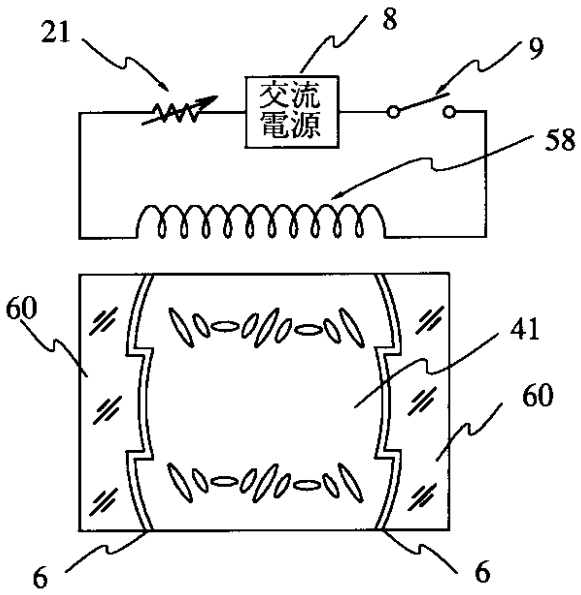
【図１５】



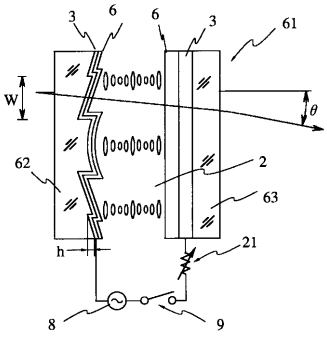
【図１６】



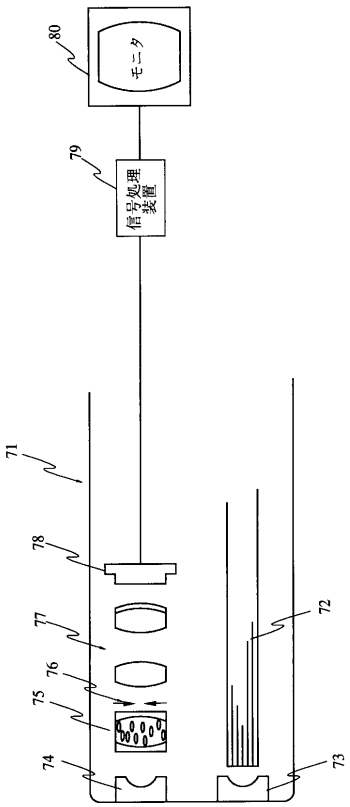
【図１７】



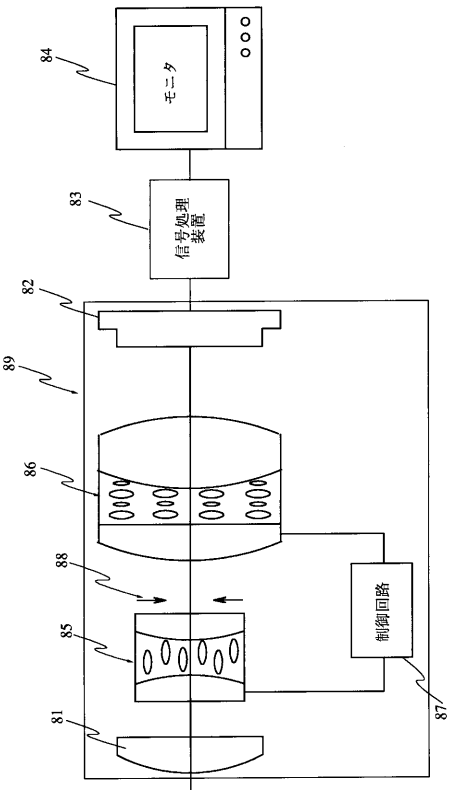
【図１８】



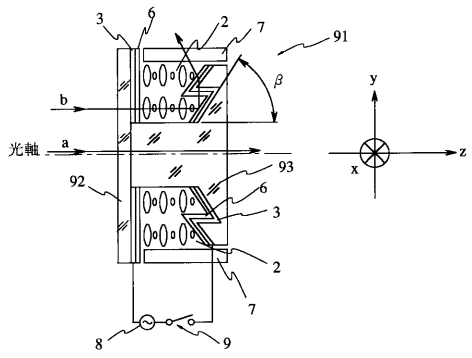
【図１９】



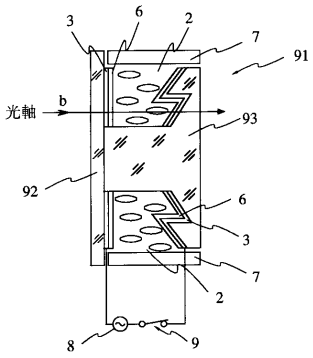
【図２０】



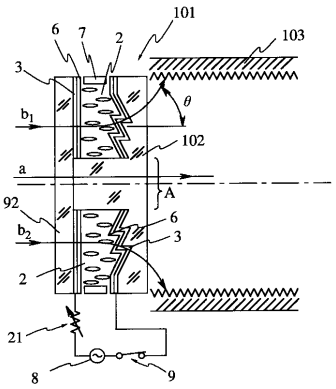
【図２１】



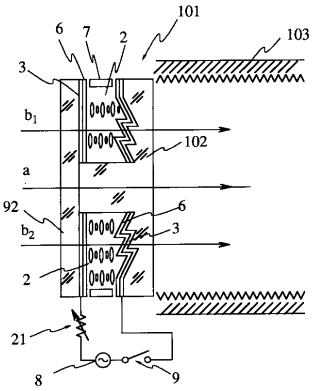
【図２２】



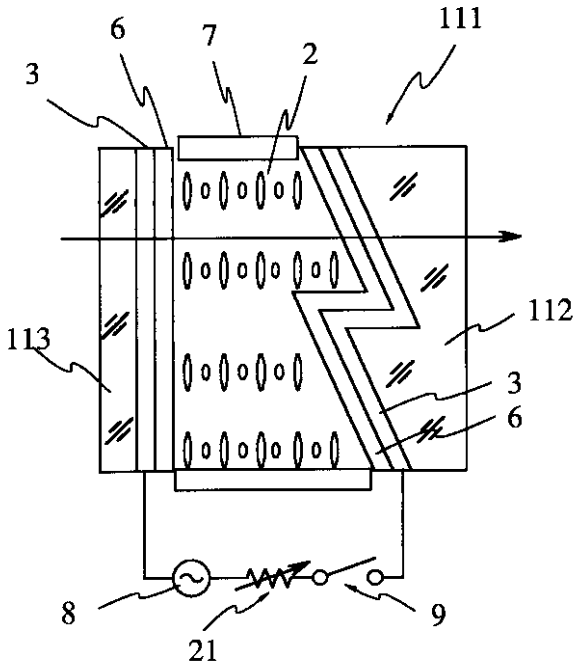
【図２３】



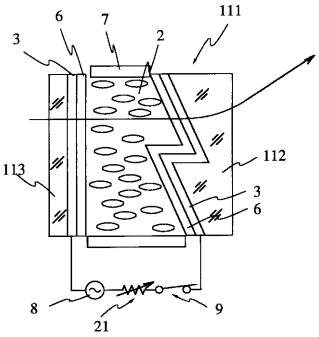
【図２４】



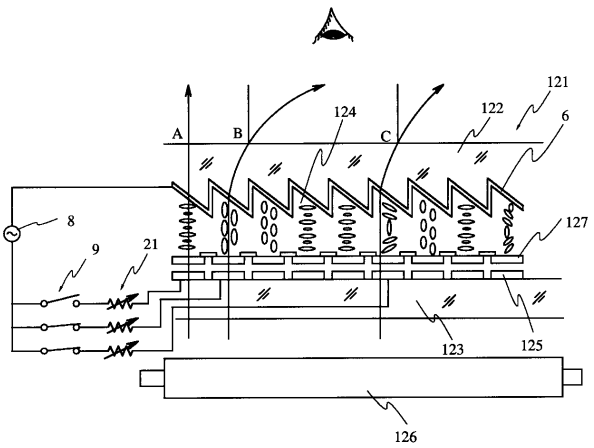
【図２５】



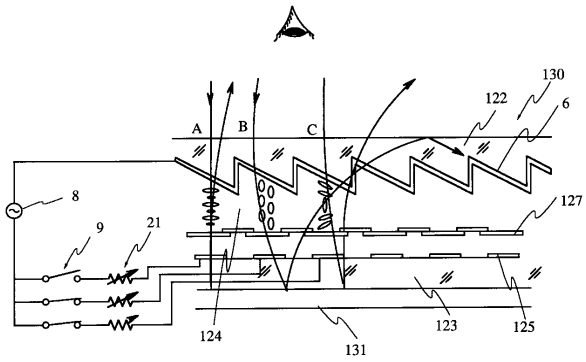
【図２６】



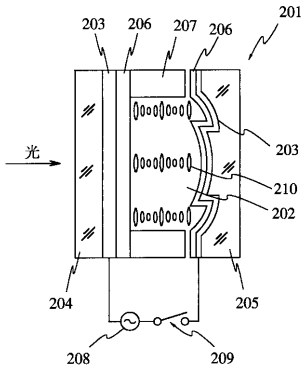
【図２７】



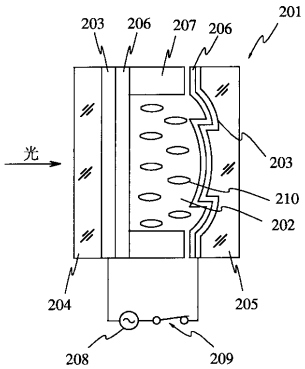
【図２８】


A
B
C
130
122
6
8
9
21
127
124
131
123
125

【図２９】


201
203
206
207
206
光
203
210
202
204
205
208
209

【図３０】


201
203
206
207
206
光
203
210
202
204
205
208
209

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第９４／０２３３３４（WO，Ａ１）
特開平０８－０６２６４２（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－３３３３０６（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－０８８１６２（ＪＰ，Ａ）
特開昭５４－０９９６５４（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－０３４６５６（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－０３４９７２（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２４１１６１（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－１０７９３１（ＪＰ，Ａ）
実開昭５９－０２５５２２（ＪＰ，Ｕ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０２Ｂ　　３／１４
Ｇ０２Ｆ　　１／１３