

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3893421号
(P3893421)

(45) 発行日 平成19年3月14日(2007.3.14)

(24) 登録日 平成18年12月22日(2006.12.22)

(51) Int. Cl.

F I

GO2B 26/08 (2006.01)
 HO4N 1/04 (2006.01)
 GO2B 26/10 (2006.01)
 GO3F 7/20 (2006.01)
 B41J 2/445 (2006.01)

GO2B 26/08 J
 HO4N 1/04 B
 GO2B 26/10 G
 GO3F 7/20 505
 GO3F 7/20 511

請求項の数 5 (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-396578 (P2001-396578)
 (22) 出願日 平成13年12月27日(2001.12.27)
 (65) 公開番号 特開2003-195201 (P2003-195201A)
 (43) 公開日 平成15年7月9日(2003.7.9)
 審査請求日 平成16年7月2日(2004.7.2)

(73) 特許権者 306037311
 富士フイルム株式会社
 東京都港区西麻布2丁目26番30号
 (74) 代理人 100105647
 弁理士 小栗 昌平
 (74) 代理人 100105474
 弁理士 本多 弘徳
 (74) 代理人 100108589
 弁理士 市川 利光
 (74) 代理人 100115107
 弁理士 高松 猛
 (74) 代理人 100132986
 弁理士 矢澤 清純

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光変調素子及び光変調素子アレイ並びにそれを用いた露光装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

それぞれが干渉膜を備え変調する光に対して透明な第一平面基板と可動薄膜とを空隙を隔てて平行に対向配置し、前記第一平面基板及び前記可動薄膜のそれぞれに設けた平面電極への電圧印加により発生する静電気力によって、前記可動薄膜を前記第一平面基板に対して変位させ、前記可動薄膜を透過又は反射する光量を変化させる光変調素子であって、

前記可動薄膜を挟んで前記第一平面基板の反対側に、干渉膜を備え変調する光に対して透明な第二平面基板を、空隙を隔てて平行に対向配置し、

前記可動薄膜の干渉膜を単層の干渉膜とし、前記第一平面基板および前記第二平面基板の干渉膜をそれぞれ多層の干渉膜としたことを特徴とする光変調素子。

10

【請求項2】

前記可動薄膜が、前記平面電極の形成されない可動薄膜側非電極部を有し、

前記第一平面基板が、前記可動薄膜側非電極部と対面する位置に前記平面電極の形成されない基板側非電極部を有していることを特徴とする請求項1記載の光変調素子。

【請求項3】

前記可動薄膜を矩形状に形成し且つ前記可動薄膜の長手方向両端を支持した請求項1又は請求項2記載の光変調素子を、同一平面上で、前記可動薄膜の長手方向に直交する方向に複数近接させて並設したことを特徴とする光変調素子アレイ。

【請求項4】

請求項3記載の光変調素子アレイと、

20

前記光変調素子アレイに光ビームを照射するレーザ光源と、

前記光ビームに感光する感光材料に対して、前記光変調素子アレイからの出射光を主走査方向及びこれと直交する副走査方向に相対移動させる移動手段とを備えたことを特徴とする露光装置。

【請求項 5】

請求項 3 記載の光変調素子アレイと、

前記光変調素子アレイに光ビームを照射する高出力レーザ光源と、

前記光変調素子アレイからの出射光を集光する集光レンズと、

前記光ビームに感光する感光材料に対して、前記集光レンズにより集光された出射光を主走査方向及びこれと直交する副走査方向に相対移動させる移動手段とを備えたことを特

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、静電気力で可動薄膜を変位させることにより、可動薄膜を透過又は反射する光の量を変化させて、光を変調する光変調素子及び光変調素子アレイ並びにそれを用いた露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

光の振幅、位相、周波数を時間的に変化させる制御素子に光変調素子がある。光変調素子は、光を透過させる物質の屈折率を、物質に印加する外場によって変化させ、屈折、回折、吸収、散乱等々の光学現象を介して、最終的にこの物質を透過又は反射する光の強度を制御する。この一つに、マイクロマシニングにより作製された可動薄膜を、静電気力により機械的動作させることで光変調する電気機械的な光変調素子が知られている。この光変調素子としては、例えば図 14 (a) に示すように、透明な可動電極 1 と干渉膜を有するダイヤフラム 3 からなる可動薄膜 5 を、固定電極 9 を有する平面基板 11 上に支持部 7 を介して架設したものである。

20

【0003】

この光変調素子では、図 14 (b) に示すように、両電極 1, 9 間に所定の駆動電圧 V_{ON} を印加することで電極 1, 9 間に静電気力を発生させ、可動薄膜 5 を固定電極 9 に向かって撓ませる。これに伴って素子自体の光学的特性が変化し、光変調素子は光が透過する透過状態となる。これは、例えばファブリペロー干渉を利用して光変調部から出射される光の強度を制御することで変化させる。一方、印加電圧をゼロとする等の非駆動電圧を印加することで可動薄膜 5 が弾性復帰し、光変調素子は光を反射する反射状態となる。このようにして、例えば光変調素子の入射光導入側においては、駆動電圧の印加により明となり、非駆動電圧の印加により暗となる光変調が実現される。この種の光変調素子によれば、静電誘導により可動薄膜 5 を駆動するので、従来の液晶型光変調器に比べて高速な応答が可能になる。

30

【0004】

ここで、上記のようなファブリペロー干渉を利用した基本的な光変調作用について説明する。ファブリペロー干渉では、入射光線が、反射と透過を繰り返して多数の光線に分割され、これらは互いに平行となる。透過光線は、無限遠において重なり合い干渉する。面の垂線と入射光線のなす角を θ とすれば、隣り合う二光線間の光路差は $x = n t \cdot \cos \theta$ で与えられる。但し、 n は二面間の屈折率、 t は間隔である。光路差 x が波長 λ の整数倍であれば透過線は互いに強め合い、半波長の奇数倍であれば互いに打ち消し合う。即ち、反射の際の位相変化がなければ、

40

$2 n t \cdot \cos \theta = m \lambda \quad \dots (1)$ で透過光最大となり、

$2 n t \cdot \cos \theta = (2 m + 1) \lambda / 2 \quad \dots (2)$ で透過光最小となる。

但し、 m は整数である。

即ち、平行ミラー間で反射と透過が繰り返されるファブリペロー干渉においては、空隙の

50

略整数倍の波長のみが光変調素子を透過する。

【0005】

ここで、図14に示す構成の光変調素子を用い、例えばブラックライト用紫外線ランプ（低圧水銀ランプ）からの出射光を光変調する場合を考える。低圧水銀ランプの内壁にブラックライト用の蛍光体を塗布した場合、その発光紫外線の分光特性は、例えば図15に示すように、360nm付近に中心波長 λ_0 を持つようになる。

【0006】

ここで、光変調素子に非駆動電圧 V_{OFF} を印加したときの空隙10の間隔を t_{off} とする（図14(a)の状態）。また、駆動電圧 V_{ON} を印加したときの空隙10の間隔を t_{on} とする（図14(b)の状態）。

更に、 t_{on} 、 t_{off} を下記のように設定する。

$$t_{on} = 1/2 \times \lambda_0 = 180 \text{ nm}$$

$$t_{off} = 3/4 \times \lambda_0 = 270 \text{ nm}$$

但し、

$$m = 1$$

λ_0 ：紫外線の中心波長

とする。

【0007】

また、可動薄膜5及び干渉膜3は、その光強度反射率を $R = 0.85$ とする。空隙10は空気又は希ガスとし、その屈折率は $n = 1$ とする。紫外線はコリメートされているので、光変調素子に入射する入射角 θ は略ゼロとする。このときの光変調素子の波長に対する光透過率は図16に示すようになる。即ち、光変調素子21は、可動電極1と固定電極9との間に非駆動電圧 V_{OFF} を印加したとき、 $t_{off} = 270 \text{ nm}$ となり、図15に示す360nm付近に中心波長 λ_0 を持つ紫外線をほとんど透過させない。一方、駆動電圧を印加して $t_{on} = 180 \text{ nm}$ となると、360nm付近に中心波長 λ_0 を持つ紫外線を透過させるようになる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来の光変調素子では、干渉モードで光変調を行う場合に、光透過を可能とする波長域（波長マージン）が非常に狭くなる傾向がある。上記の光変調素子の場合、図16に示す波長360nm付近の波長スペクトル、即ち、光透過状態となり得る波長域は、非常にシャープな分布となり透過帯が狭小となる。

従って、この狭小な透過帯によって光変調素子を正しく動作させるには、光変調素子製造時の膜厚精度、光学系組み込み精度、入射光の波長精度等を高精度に維持しなければならず、仮に、この狭小な透過帯を超えるような誤差が生じたときには、光変調素子が光のオン/オフ制御が行えなくなる。このため、光変調素子の製造コストが増大するといった問題があった。

【0009】

本発明は、このような状況に鑑みてなされたもので、光のオン/オフ変調が可能となる波長マージンを広くすることができ、それにより、膜厚精度、光学系組み込み精度、入射光の波長精度等を緩めることができる光変調素子及び光変調素子アレイ並びにそれを用いた露光装置を提供し、もって、光変調素子の製造コスト低減を図ることを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するための本発明に係る請求項1記載の光変調素子は、それぞれが干渉膜を備え変調する光に対して透明な第一平面基板と可動薄膜とを空隙を隔てて平行に対向配置し、前記第一平面基板及び前記可動薄膜のそれぞれに設けた平面電極への電圧印加により発生する静電気力によって、前記可動薄膜を前記第一平面基板に対して変位させ、前記可動薄膜を透過又は反射する光量を変化させる光変調素子であって、

前記可動薄膜を挟んで前記第一平面基板の反対側に、干渉膜を備え変調する光に対して

10

20

30

40

50

透明な第二平面基板を、空隙を隔てて平行に対向配置し、

前記可撓薄膜の干渉膜を単層の干渉膜とし、前記第一平面基板および前記第二平面基板の干渉膜をそれぞれ多層の干渉膜としたことを特徴とする。

【0011】

この光変調素子では、単層の干渉膜を備えた可動薄膜と多層の干渉膜を備えた第一平面基板とからなる干渉フィルター（ファブリーペローフィルター）に、多層の干渉膜を有する第二平面基板を空隙を隔てて直列に結合することで、比較的広い波長域の透過帯が得られるようになる。つまり、従来、可動薄膜と第一平面基板とを透過させた場合では狭かった、光透過を可能にする波長マージンを広くすることができ、これにより、膜厚精度、光学系組み込み精度、入射光の波長精度等を緩めることができ、その結果、光変調素子の製造コストを低く抑えることができるようになる。

10

【0012】

請求項2記載の光変調素子は、前記可動薄膜が、前記平面電極の形成されない可動薄膜側非電極部を有し、前記第一平面基板が、前記可動薄膜側非電極部と対面する位置に前記平面電極の形成されない基板側非電極部を有していることを特徴とする。

【0013】

この光変調素子では、可動薄膜及び第一平面基板の光透過部位に透明電極を設ける必要がないので、透明電極による光の吸収を皆無にできる。また、光強度が強い場合に生じる透明電極の発熱による変形・破壊等が防止でき、光変調素子的高速駆動と長寿命化が実現する。さらに、光の吸収がなくなるので、透過光の強度も増大させることができる。なお、前記干渉膜を、屈折率の高い誘電体材料と、屈折率の低い誘電体材料とを交互に積層した多層干渉膜とすれば、各層間の境界面での反射光や透過光による干渉を強め合い、高反射率、高透過率が得られるようになる。さらに、前記第一平面基板の多層干渉膜と、前記第二平面基板の多層干渉膜とが、前記可動薄膜を対称に同一の積層構造を有したものとすれば、可撓薄膜の移動による透過光量の変化を大きくできる。

20

【0014】

請求項3記載の光変調素子アレイは、前記可動薄膜を矩形状に形成し且つ前記可動薄膜の長手方向両端を支持した請求項1又は請求項2記載の光変調素子を、同一平面上で、前記可動薄膜の長手方向に直交する方向に複数近接させて並設したことを特徴とする。

【0015】

この光変調素子アレイでは、光変調素子を、同一平面上で、可動薄膜の長手方向に直交する方向に複数近接させて並設することで、光変調素子の並設数と同数の画素数で、1ライン分を同時に光変調することができる。

30

【0016】

請求項4記載の露光装置は、請求項3記載の光変調素子アレイと、前記光変調素子アレイに光ビームを照射するレーザ光源と、前記光ビームに感光する感光材料に対して、前記光変調素子アレイからの出射光を主走査方向及びこれと直交する副走査方向に相対移動させる移動手段とを備えたことを特徴とする。

【0017】

この露光装置では、請求項3記載の光変調素子アレイを用い、この光変調素子アレイにレーザ光源からの光を照射し、光変調素子から出射される光を移動手段によって感光材料に対して相対移動させつつ感光材料に照射することで、感光材料を直接走査露光することができる。

40

【0018】

請求項5記載の露光装置は、請求項3記載の光変調素子アレイと、前記光変調素子アレイに光ビームを照射する高出力レーザ光源と、前記光変調素子アレイからの出射光を集光する集光レンズと、前記光ビームに感光する感光材料に対して、前記集光レンズにより集光された出射光を主走査方向及びこれと直交する副走査方向に相対移動させる移動手段とを備えたことを特徴とする。

【0019】

50

この露光装置では、請求項 3 記載の光変調素子アレイを用い、この光変調素子アレイにレーザー光源からの光を照射し、光変調素子から出射される光を集光レンズにより集光させて、この出射光を移動手段によって感光材料に対して相対移動させつつ感光材料へ照射することで、感光材料を直接走査露光することができ、ほぼ密着露光に近い光学系を構成できる。

【0020】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る光変調素子及び光変調素子アレイ並びにそれを用いた露光装置の好適な実施の形態を図面を参照して詳細に説明する。

図 1 は本発明に係る光変調素子の構成を示す断面図、図 2 は図 1 に示した光変調素子の平面図、図 3 は光変調素子の層構造例を示す説明図である。

【0021】

図 1 に示すように、光変調素子 2 1 は、上面に干渉膜 2 2 及び平面電極 3 7 を有し変調する光に対して透明な第一平面基板 2 3 と、この第一平面基板 2 3 の上面に犠牲層の形成・除去等の方法によって形成した空隙 2 5 を隔てて、干渉膜及び平面電極（可動電極）3 1 を有する可動薄膜 2 7 と、さらに同様の空隙 2 6 を隔てて、下面に干渉膜 4 5 を有し変調する光に対して透明な第二平面基板 4 7 とを基本構成として備えている。これら第一平面基板 2 3、可動薄膜 2 7、第二平面基板 4 7 は互いに平行に対向配置されている。なお、可動薄膜 2 7 は、可動薄膜 2 7 自体を干渉膜により形成する他にも、干渉膜を別途に形成してもよい。なお、本実施の形態においては可動薄膜 2 7 自身が干渉膜からなる場合を例

【0022】

第 1 平面基板 2 3 は、ガラス基板 3 5、干渉膜 2 2、平面電極（固定電極）3 7 を順次積層した構造であり、固定電極 3 7 上には支持部 2 8 が立設されている。第一平面基板 2 3 の固定電極 3 7 上に立設された支持部 2 8 は、例えばシリコン酸化物、シリコン窒化物、セラミック、樹脂等からなり、その上面を可動薄膜 2 7 と接合させている。可動薄膜 2 7 は、弾性を有し、矩形状に形成され、支持部 2 8 に長手方向両端部を接合されて、平面電極（可動電極）3 1 を、干渉膜であるダイヤフラム 3 3 上に積層した構造となっている。

【0023】

可動電極 3 1 及び固定電極 3 7 は、アルミニウムからなるが、この他にも、金属或いは導電性を有する金属化合物が利用できる。この金属としては、金、銀、パラジウム、亜鉛、銅等の金属薄膜を用いることができ、金属化合物としては、これら金属の化合物等を用いることができる。また、ダイヤフラム 3 3 は、 TiO_2 からなるが、シリコン窒化物、各種酸化物、窒化物等を用いることができる。可動薄膜 2 7 に干渉膜を別途に設ける場合には、この他にも、セラミック、樹脂等の他、ポリシリコン等の半導体、絶縁性のシリコン酸化物等を用いることができる。

【0024】

第二平面基板 4 7 は、可動薄膜 2 7 に対面する面（図 1 の下面）に干渉膜 4 5 を有し、可動薄膜 2 7 の長手方向両端の可動電極 3 1 上に立設した支持部 2 9 を介して干渉膜 4 5 側の下面が支持されることで、第一平面基板 2 3 及び可動薄膜 2 7 に対して平行に対向配置されている。この第二平面基板 4 7 は、ガラス基板 3 6 に干渉膜 4 5 を積層した構造となっている。ここで、上記したガラス基板 3 5、3 6 は、ガラス以外にも、例えばポリエチレンテレフタレート、ポリカーボネート等の樹脂等を用いることができる。

【0025】

また、光変調素子 2 1 は、図 2 に示すように、複数の可動薄膜 2 7 が例えば同一平面上で、可動薄膜 2 7 の長手方向に直交する方向に近接して、1次元のアレイ状に形成される。なお、図 2 中の各部位における寸法は、例えば $a = 150 \mu\text{m}$ 、 $b = 20 \mu\text{m}$ 、 $c = 50 \mu\text{m}$ 程度で形成することができる。

【0026】

また、可動薄膜 2 7 の長手方向中央部には、この可動薄膜 2 7 に形成した可動電極 3 1 を

10

20

30

40

50

長手方向両端に分断する薄膜側非電極部 4 1 を設けており、また、第一平面基板 2 3 にも、この薄膜側非電極部 4 1 に対面する基板側非電極部 4 3 を設けている。つまり、可動薄膜 2 7 の長手方向中央部とこれに対応する第一平面基板 2 3 の領域は電極部が存在せず、これら薄膜側非電極部 4 1 及び基板側非電極部 4 3 には、図 1 及び図 2 に示すように、可動電極 3 1 及び固定電極 3 7 を積極的に除去している。光変調素子 2 1 は、この薄膜側非電極部 4 1 及び基板側非電極部 4 3 が光透過部となって光変調を行うため、光透過部位に透明電極を設ける必要がなくなり、導電率や光透過率を向上させることができる。

【0027】

上記のように、本実施形態の光変調素子 2 1 は、第一平面基板 2 3 のガラス基板 3 5 と、第二平面基板 4 7 のガラス基板 3 6 との間に、干渉膜 2 2 と干渉膜 4 5 とを有し、その干渉膜 2 2 と干渉膜 4 5 との間に、空隙 2 5 , 2 6 を挟んで干渉膜を有する可動薄膜 2 7 を配置した構成となっている。このように、可動薄膜 2 7 は、第一平面基板 2 3 側及び第二平面基板 4 7 側に空隙 2 5 , 2 6 を有して干渉膜 2 2 、干渉膜 4 5 に対面している。

【0028】

これら干渉膜 2 2 , 4 5 は、多層干渉膜からなり、例えば蒸着やスパッタにより形成した TiO_2 / SiO_2 の多層膜とすることができる。これらの干渉膜 2 2 , 4 5 の層構成の例を図 3 に示した。本実施形態では、可動薄膜 2 7 に TiO_2 を用い、干渉膜 2 2 と、干渉膜 4 5 と、可動薄膜 2 7 との全体で TiO_2 と SiO_2 の層を合計 7 層設けた多層干渉膜としている。即ち、その積層構造は、図 3 (b) に示すように、第一平面基板側から順に、ガラス / SiO_2 / TiO_2 / SiO_2 / 空隙 / TiO_2 / 空隙 / SiO_2 / TiO_2 / SiO_2 / ガラスとなっている。これら干渉膜 2 2 , 4 5 は、屈折率の高い誘電体材料と屈折率の低い誘電体材料とを交互に積層されることで、各層間の境界面での反射光や透過光による干渉を強め合い、高反射率、高透過率が得られる多層膜干渉効果によって、所謂ハーフミラーとしての機能を奏する。

【0029】

また、第一平面基板 2 3 の干渉膜 2 2 と、第二平面基板 4 7 の干渉膜 4 5 とは、可動薄膜 2 7 を対称に同一の積層構成を有している。これにより、透過光量の可動薄膜の移動による変化を大きくできる。

【0030】

次に、上記構成の光変調素子 2 1 の光変調動作を説明する。

図 4 に光変調素子の動作を説明する断面図を示した。

光変調素子 2 1 では、図 4 (a) に示す状態から、可動薄膜 2 7 の可動電極 3 1 と第一平面基板 2 3 の固定電極 3 7 との間に駆動電圧 V_{ON} を印加すると、可動薄膜 2 7 に電荷が静電誘導される。この電荷と第一平面基板 2 3 の固定電極 3 7 との間に作用する静電気力によって、可動薄膜 2 7 は、図 4 (b) に示すように、第一平面基板 2 3 側へ吸着力が働くことによって弾性変形され、第一平面基板 2 3 上面に近接するように変位する。一方、非駆動電圧 V_{OFF} が印加されて静電気力による吸着力がなくなると、図 4 (a) に示すように、弾性復帰力によって再び可動薄膜 2 7 の中央部が空隙 2 5 を隔てた位置に浮上して配置される。光変調素子 2 1 では、この可動薄膜 2 7 の変位動作又は弾性復帰動作により、特定の波長域の光が選択的に透過又は反射される。

【0031】

つまり、光変調素子 2 1 は、可動薄膜 2 7 の変位により、可動薄膜 2 7 、干渉膜 2 2 , 4 5 からなる平行ミラー間の距離をそれぞれ異ならせ、平行ミラー間で繰り返し反射させた合成波の強度を変化させることによって、導入された光を透過又は反射させている。即ち、ファブリペロー干渉を利用した光変調を行っている。

【0032】

この光変調素子 2 1 では、可動薄膜 2 7 を変位させることで、干渉モードにて光変調を行っている。これにより、低い駆動電圧 (数 V ~ 数十 V) で、数十 [n s e c] の高速動作が可能になる。なお、干渉の条件を満たせば、空隙 2 5 , 2 6 の間隔、屈折率、可動薄膜 2 7 及び干渉膜 2 2 , 4 5 の光強度反射率等はいずれの組合せでも良い。また、印加電圧

10

20

30

40

50

の値により空隙 25, 26 の間隔を連続的に変化させると、透過スペクトルの中心波長を任意に変化させることが可能である。これにより透過光量を連続的に制御することも可能である。即ち、印加電圧による階調制御が可能となる。

また、本実施形態の光変調素子 21 は、入射した光を入射光導入側に反射して戻す反射型の光変調素子としても、また、第二平面基板 47 側から可動薄膜 27 を通して第一平面基板 23 側へ透過させる透過型の光変調素子としても構成できる。

【0033】

本実施の形態による光変調素子 21 は、可動薄膜 27 と第一平面基板 23 とからなる従来構成の光変調素子による光変調作用に加えて、干涉膜 45 を有する第二平面基板 47 を空隙 26 を隔てて上下直列に結合することで、従来構成の場合よりも広い透過帯を得ることができるようになっている。従って、従来、可動薄膜 27 と第一平面基板 23 とを配置して透過させるのみでは狭かった光透過を可能とする波長マージンを、広く設定することができる。これにより、膜厚精度、光学系組み込み精度、入射光の波長精度等を緩めることができ、その結果、光変調素子の製造コストを低く抑えることができる。

【0034】

また、上記構成の光変調素子 21 によれば、光変調部において、電極部による光の吸収を皆無にでき、光強度が強い場合に生じる電極部の発熱による変形・破壊等が防止でき、光変調素子 21 の高速駆動が可能になり、かつ長寿命化が実現できる。さらに、光透過部位における光の吸収がなくなるので、透過光の強度も増大させることができる。また、可動薄膜を矩形状に形成し、その中央部の全てを薄膜側非電極部 41 として電極を除去したので、複数の光変調素子を一次元に配列した場合、隣接する光変調素子の光透過部同士の間

【0035】

ここで、第二平面基板 47 を設けることにより、光透過が可能となる波長マージンが広がる様子を、シミュレーションによって求めた結果について、図 5 ~ 図 9 を参照して順次説明する。

図 5 は図 1 に示す合計 7 層の干涉膜を備えた光変調素子に対する光の透過率特性を示すグラフである。図中、印は電極へ駆動電圧を印加した場合の特性で、印は非駆動電圧を印加した場合の特性を示している。

この場合、波長 = 405 nm 近傍を透過帯としており、干涉膜の構造は図 3 (b) にも示したように、電極への非駆動電圧の印加時では、第 2 平面基板 47 側から、

【0036】

SiO₂ (145 nm)
TiO₂ (21 nm)
SiO₂ (33 nm)
空隙 (101 nm)
TiO₂ (42 nm)
空隙 (101 nm)
SiO₂ (17 nm)
TiO₂ (25 nm)
SiO₂ (148 nm)

となる。そして、駆動電圧の印加時では、可動薄膜 27 下側の空隙 25 がなくなることになる。また、ここでの光変調素子は、入射光の波長が 405 nm であることを想定して、全ての波長域で = 405 nm として計算した。

【0037】

但し、屈折率 n は、

ガラス n = 1.5151
SiO₂ n = 1.4703
TiO₂ n = 2.3493
空隙 n = 1

としている。

【0038】

また、図6は、図5に示す透過率特性の計算において、各膜厚の組み合わせを決める際の収束計算を、標準とした2回から1回に変更した結果を示すグラフである。この透過率特性においては、光透過が可能となる波長マージンが格段に広くなり、幅広い波長域に対して光変調が可能となる。

【0039】

図7は、光変調素子の干渉膜の構成を、図3(c)に示す9層構成とした場合の光の透過率特性を示すグラフであり、図8は、図3(d)に示す15層構成とした場合の光の透過率特性を示すグラフである。いずれの透過率特性においても、光透過が可能となる波長マージンが広がっている。

【0040】

一方、図9は、比較のため従来の多層干渉膜を備えた光変調素子における波長特性をシミュレーションにより求めたグラフであって、光変調素子を合計7層の干渉膜で構成した場合の波長特性を示している。この場合の層構成及び各層の厚みは以下の通りである。

TiO₂ (43.1nm)
 SiO₂ (68.9nm)
 TiO₂ (43.1nm)
 空隙 (101.3nm)
 SiO₂ (137.8nm)
 TiO₂ (43.1nm)
 SiO₂ (68.9nm)
 TiO₂ (43.1nm)

【0041】

図9に示す 405nm近傍を透過帯とする従来の光変調素子の場合には、その多層膜構造は、非駆動電圧の印加時(電圧OFF状態)では、光透過状態となり得る波長マージンが、非常にシャープな分布となり透過帯が狭小となる。

【0042】

これらのシミュレーションの結果から、第二平面基板を有した光変調素子による光透過性が得られる波長マージンは、従来の第二平面基板を有しない光変調素子の波長マージンと比較すると、第二平面基板を有した光変調素子の方が、波長マージンが格段に広くなることを確認できる。

【0043】

以上説明したように、第二平面基板を有する光変調素子の光の透過率特性によれば、光透過が可能となる波長マージンが、波長約405nmを中心にして広く設定されているため、光変調素子製作時や使用時に、各干渉層の膜厚精度、光学系組み込み精度、入射光の波長精度等の各種誤差要因により透過率特性が多少変化しても、透過率特性の変化が直ちに光変調素子の光変調機能に大きく影響することがなく、実使用に影響のない許容範囲内に収められる。従って、光変調素子製作時や組み付け時の要求精度を緩和でき、製造コストの低減が図られる。

【0044】

なお、上記した光変調素子は、可動薄膜27を矩形状で形成し、長手方向の任意の位置における幅が等しい場合を説明したが、光変調素子21は、図10に示すように、可動薄膜27の長手方向両端近傍に、中央部の幅より狭い狭小部59を形成するものであってもよい。なお、図10中の各部位における寸法は、例えば、a = 150μm、b = 20μm、c = 50μm、d = 10μm、e = 100μm程度で形成することができる。

【0045】

このような狭小部59を設けることで、光を透過又は反射させる可動薄膜27の長手方向中央部の変形を小さくした状態で、可動薄膜27全体を第一平面基板23に対して平行に変位させることができるようになる。また、この狭小部59が変形することにより、均一

10

20

30

40

50

幅の可動薄膜 27 を変形させる場合に比べ、可動薄膜 27 の駆動力が低減し、駆動速度の高速化が可能になる。

【0046】

次に、上記した光変調素子 21 を、光変調素子アレイとして利用した露光装置について説明する。

図 11 は本発明に係る露光装置の要部構成の概略を表した斜視図、図 12 は図 11 に示した光変調素子アレイの拡大斜視図、図 13 は上記の光変調素子を用いて構成した他の露光部の拡大斜視図である。

この実施の形態では、光変調素子 21 により構成した光変調素子アレイを、液晶カラーフィルタ製造工程に使用するフォトリソスト用の露光装置 61 に適用した例を説明する。

10

【0047】

この露光装置 61 は、図 11 に示すように、露光対象物 63 を側面に吸着して保持する縦型のフラットステージ 65 と、画像データ 67 に応じて変調された光ビーム（紫外レーザー光）69 で露光対象物 63 を走査露光する露光ヘッド 71 とを備えている。フラットステージ 65 は、図示しないガイドによって X 軸方向に移動可能に支持されており、露光ヘッド 71 は、図示しないガイドによって Y 軸方向に移動可能に支持されている。

【0048】

フラットステージ 65 の裏面角部には一対のナット 73 が固定されており、ナット 73 の雌ねじ部 75 にはリードスクリュー 77 が螺合されている。リードスクリュー 77 の一方の端部にはリードスクリュー 77 を回転させる駆動モータ 79 が取り付けられており、駆動モータ 79 はモータコントローラ 81 に接続されている。そして、この駆動モータ 79 によるリードスクリュー 77 の回転に伴い、フラットステージ 65 が X 軸方向にステップ状に移動される。

20

【0049】

露光ヘッド 71 の下部には一対のナット 83 が固定されており、ナット 83 の雌ねじ部 85 にはリードスクリュー 87 が螺合されている。リードスクリュー 87 の一方の端部にはリードスクリュー 87 を回転させる駆動モータ 89 がベルトを介して連結されており、駆動モータ 89 はモータコントローラ 81 に接続されている。そして、この駆動モータ 89 によるリードスクリュー 87 の回転に伴い、露光ヘッド 71 が Y 軸方向に往復移動される。ナット 83、リードスクリュー 87、駆動モータ 89 は、移動手段 90 を構成する。

30

【0050】

この場合の露光対象物 63 は、ブラックマトリックスが形成されたガラス基板上に、例えば R 色の顔料を紫外線硬化樹脂に分散させたカラーレジスト膜を形成したものである。この露光対象物 63 に紫外レーザー光 69 を照射すると、カラーレジスト膜の紫外レーザー光 69 が照射された部分だけが硬化して R 色のカラーフィルタ部が形成される。

【0051】

露光ヘッド 71 は、図 12 に示すように、高出力な紫外レーザー光源 91、紫外レーザー光源 91 から入射されたレーザー光を X 軸方向に平行光化すると共に X Y 平面と直交する方向に収束させるレンズ 93、入射されたレーザー光を画像データ 67 に応じて各画素毎に変調する光変調素子アレイ 95、及び光変調素子アレイ 95 で変調されたレーザー光を露光対象物 63 の表面に倍率を変えて結像させるズームレンズ 97 で構成された露光ユニットを備えている。

40

【0052】

この露光ユニットを構成する各部材はケーシング 99 内に収納されており、ズームレンズ 97 から出射された紫外レーザー光 69 は、ケーシング 99 に設けられた図示しない開口を通過して露光対象物 63 の表面に照射される。ズームレンズ 97 は、図示しない駆動モータによって、光軸に沿って移動され結像倍率の調整を行う。なお、通常、ズームレンズは組合せレンズで構成されるが、図示を簡単にするため 1 枚のレンズのみ示した。

【0053】

紫外レーザー光源 91、レンズ 93、光変調素子アレイ 95、及びズームレンズ 97 は、図

50

示しない固定部材によってケーシング 99 に固定されており、ズームレンズ 97 は、図示しないガイドによって光軸方向に移動可能に支持されている。また、紫外レーザー光源 91 及び光変調素子アレイ 95 は、各々図示しないドライバを介してこれらを制御する図示しないコントローラに接続されている。

【0054】

紫外レーザー光源 91 は、例えば窒化ガリウム系半導体レーザーを用いる。なお、ブロードエリアの発光領域を有する窒化ガリウム系半導体レーザーを用いると、波長約 405 nm の紫外領域の光が高出力で得られ、高速での走査に有利になる。

【0055】

感光材料としては、液晶カラーフィルタ形成用感光材料、プリント配線基板製造用のフォトレジスト、印刷用感光性シリンドラ、印刷用感光性材料を塗布したシリンドラ、及び印刷用刷版を挙げることができる。これら感光材料は、縦型の平板ステージに保持することができる。感光材料を縦型の平板ステージに保持することにより、感光材料のたわみを最小限に抑えられるため高精度な露光が図られる。

【0056】

光変調素子アレイ 95 は、上記の光変調素子 21 を、同一平面上で、可動薄膜 27 の長手方向に直交する方向に複数近接させて並設している。この実施の形態では、並設方向が図 12 の上下方向 (X 方向) となる。従って、この並設方向に直交する方向 (Y 方向) で露光対象物 63 と露光ヘッド 71 とを相対移動させると、光変調素子 21 の並設数と同数の画素数で、1 ライン分を露光対象物 63 に露光することができ、この場合においても、光変調素子 21 の有する特性により、高速の露光が可能になり、かつ長寿命化が実現できる。なお、図 12 中の各部位における寸法は、例えば、 $f = 2 \text{ mm}$ (1000 ch)、 $g = 20 \mu\text{m}$ 程度で形成することができる。

【0057】

次に、本実施の形態の露光装置の動作を説明する。露光対象物 63 に紫外レーザー光 69 を照射して露光するために、画像データ 67 が、光変調素子アレイ 95 のコントローラ (図示せず) に入力され、コントローラ内のフレームメモリに一旦記憶される。この画像データ 67 は、画像を構成する各画素の濃度を 2 値 (即ちドットの記録の有無) で表したデータである。

【0058】

露光ヘッド 71 の紫外レーザー光源 91 から出射されたレーザー光は、レンズ 93 により X 軸方向に平行光化されると共に X Y 平面と直交する方向に収束されて、光変調素子アレイ 95 に入射される。入射されたレーザー光は、光変調素子アレイ 95 によって同時に変調される。変調されたレーザー光がズームレンズ 97 により露光対象物 63 の表面に結像される。

【0059】

露光開始時には、露光ヘッド 71 が露光開始位置 (X 軸方向及び Y 軸方向の原点) に移動される。モータコントローラ 81 が駆動モータ 89 を一定速度で回転させると、リードスクリュー 87 も一定速度で回転し、リードスクリュー 87 の回転に伴い、露光ヘッド 71 が Y 軸方向に一定速度で移動される。

【0060】

露光ヘッド 71 の Y 軸方向への移動と共に、フレームメモリに記憶されている画像データ 67 が、1 ライン分、光変調素子アレイ 95 の光変調素子 21 の数と略同数の画素単位で順に読み出され、読み出された画像データ 67 に応じて光変調素子 21 の各々がオン / オフ制御される。これにより露光ヘッド 71 から出射される紫外レーザー光 69 がオン / オフされて、露光対象物 63 が、X 軸方向に光変調素子 21 の数と略同数の画素単位で露光されると共に、Y 軸方向に 1 ライン分走査露光される。

【0061】

露光ヘッド 71 が露光対象物 63 の端部に達すると、露光ヘッド 71 は Y 軸方向の原点に復帰する。そして、モータコントローラ 81 が駆動モータ 79 を一定速度で回転させると、リードスクリュー 77 も一定速度で回転し、リードスクリュー 77 の回転に伴い、フラ

10

20

30

40

50

ットステージ 65 が X 軸方向に 1 ステップ移動される。以上の主走査及び副走査を繰り返して、露光対象物 63 が画像様に露光される。なお、上記では露光ヘッド 71 を原点に復帰させて往路でのみ露光する例について説明したが、復路においても露光するようにしてもよい。これにより更に露光時間を短縮できる。

【0062】

この露光装置 61 によれば、光変調素子アレイ 95 における光変調素子の並設方向に直交する方向で、光変調素子アレイ 95 を移動手段によって感光材料に対し相対移動させることで、紫外線領域に感度を有する感光材料をデジタルデータに基づいて直接走査露光することができ、この場合においても、高速の露光を可能にし、かつ長寿命化を実現できる。

【0063】

また、高出力の紫外レーザー光源を用いているので、紫外領域に感度を有する露光対象物を、デジタルデータに基づいて直接走査露光することができる。これにより、プロキシミティ方式の露光装置と比べると、(1)マスクが不要でコストが削減できる。これにより生産性が向上する他、少量多品種の生産にも好適である、(2)デジタルデータに基づいて直接走査露光するので適宜データを補正することができ、高精度な保持機構、アライメント機構、及び温度安定化機構が不要になり、装置のコストダウンを図ることができる、(3)紫外レーザー光源は超高圧水銀ランプに比べ安価で耐久性に優れており、ランニングコストを低減することができる、(4)紫外レーザー光源は駆動電圧が低く消費電力を低減できる、という利点がある。

【0064】

更に、薄膜側非電極部 41 及び基板側非電極部 43 を有する光変調素子 21 を用いているため、従来の透過光を変調する光学素子 (PLZT 素子) や液晶光シャッタ (FLC) を用いる構成に比べて、入射光の吸収性を格段に少なくすることができ、紫外レーザー光に対する耐久性を高めることができる。この結果、高出力紫外レーザーを光源に用い露光を行う場合であっても、露光装置の信頼性を大幅に向上させることができる。また、光変調素子アレイ 95 は、静電気力を利用した電気機械動作により駆動されるため、低い駆動電圧 (数 V ~ 数十 V) で、動作速度が数十 [nsec] 程度まで得られ、上述の耐久性が向上するという効果に加え、高速露光も可能になる。

【0065】

なお、この実施の形態では、高出力レーザー光源を、GaN 系半導体レーザーと合波光学系とで構成した紫外レーザー光源とする例について説明したが、高出力レーザー光源を、以下の (1) ~ (4) のいずれかで構成してもよい。(1)窒化ガリウム系半導体レーザー。好ましくは、ブロードエリアの発光領域を有する窒化ガリウム系半導体レーザー。(2)半導体レーザーで固体レーザー結晶を励起して得られたレーザービームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザー励起固体レーザー。(3)半導体レーザーでファイバを励起して得られたレーザービームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザー。(4)上記 (1) ~ (3) のいずれかのレーザー光源又はランプ光源と合波光学系とで構成された高出力レーザー光源。また、本実施形態では、光源を紫外光としたが、赤外、可視、紫外のいずれの波長であってもよい。

【0066】

また、上記の実施の形態では、光変調素子アレイ 95 を通過させた変調光を、ズームレンズ 97 によって焦点調整して露光対象物 63 に照射する構成を説明したが、露光装置 61 は、例えば図 13 に示すように、光変調素子アレイ 95 と感光ドラム 111 との間に、ロッドレンズ等の集光レンズ 113 を配設し、光変調素子アレイ 95 からの変調光をこの集光レンズ 113 で集光させて、露光対象物に露光するものであってもよい。

【0067】

このような構成によれば、光変調素子アレイ 95 からの変調光を集光レンズ 113 で集光して感光材料に直接露光するので、略密着露光に近い光学系を構成できる利点がある。なお、ここでは、移動手段としてアウトードラムである感光ドラムを用いる例について説明したが、これに限らず、インナードラム、フラットベット等の他の移動手段を用いる構成

10

20

30

40

50

としてもよい。

【 0 0 6 8 】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明に係る光変調素子によれば、単層の干渉膜を備えた可動薄膜を挟む、多層の干渉膜を備えた第一平面基板の反対側に、多層の干渉膜を備え光の透過する第二平面基板を、空隙を隔てて平行に対向配置したので、従来、可動薄膜と第一平面基板とを透過させた場合では狭かった波長マージンを広くすることができ、膜厚精度、光学系組み込み精度、入射光の波長精度等を緩めることができ、その結果、光変調素子の製造コストを低く抑えることができるようになる。そして、本発明に係る光変調素子アレイによれば、光変調素子を、同一平面上で、可動薄膜の長手方向に直交する方向に複数近接させて並設したので、光変調素子の並設数と同数の画素数で、1ライン分を同時に光変調することができる。また、本発明に係る露光装置によれば、光変調素子アレイと、光ビームを出射する高出力レーザ光源と、光変調素子アレイからの出射光を感光材料に対して相対移動させる移動手段とを設けたので、感光材料を直接走査露光することができる。

10

。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る光変調素子の構成を示す断面図である。

【図 2】図 1 に示した光変調素子の平面図である。

【図 3】干渉膜の層構成の例を示す図である。

【図 4】光変調素子の動作を説明する断面図である。

20

【図 5】図 1 に示す合計 7 層の干渉膜を備えた光変調素子に対する光の透過率特性を示すグラフである。

【図 6】図 5 に示す透過率特性の計算において、各膜厚の組み合わせを決める際の収束計算を、標準とした 2 回から 1 回に変更した結果を示すグラフである。

【図 7】光変調素子の干渉膜の構成を、図 3 (c) に示す 9 層構成とした場合の光の透過率特性を示すグラフである。

【図 8】光変調素子の干渉膜の構成を、図 3 (d) に示す 1 5 層構成とした場合の光の透過率特性を示すグラフである。

【図 9】光変調素子を合計 7 層の干渉膜で構成した場合の波長特性を示すグラフである。

【図 1 0】可動薄膜の長手方向両端近傍に中央部の幅より狭い狭小部を形成した光変調素子の平面図である。

30

【図 1 1】本発明に係る露光装置の要部構成の概略を表した斜視図である。

【図 1 2】図 1 1 に示した光変調素子アレイの拡大斜視図である。

【図 1 3】図 1 1 に示した光変調素子を用いて構成した他の露光部の拡大斜視図である。

【図 1 4】従来の光変調素子の構成と動作を説明する図である。

【図 1 5】ブラックライト用低圧水銀ランプの分光特性を示すグラフである。

【図 1 6】光変調素子の光の透過率を示すグラフである。

【符号の説明】

2 1 ... 光変調素子

2 2 , 4 5 ... 干渉膜

40

2 3 ... 第一平面基板

2 5 , 2 6 ... 空隙

2 7 ... 可動薄膜

3 1 , 3 7 ... 平面電極

4 1 ... 可動薄膜側非電極部

4 3 ... 基板側非電極部

4 7 ... 第二平面基板

9 5 ... 光変調素子アレイ

6 1 ... 露光装置

6 3 ... 露光対象物 (感光材料)

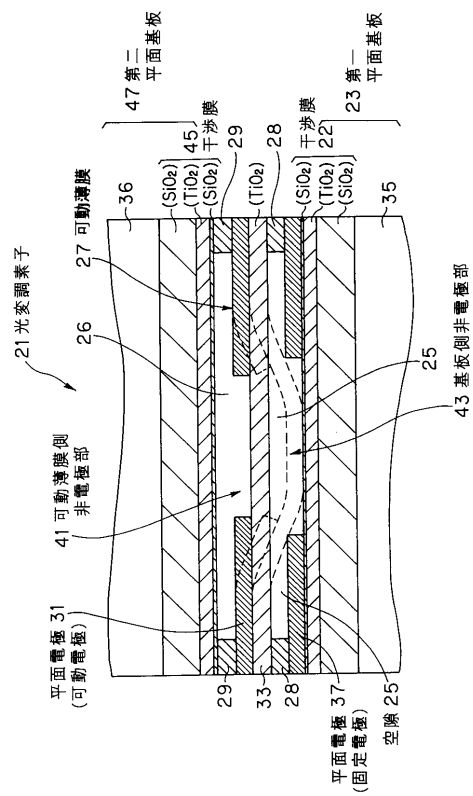
50

9 0 ... 移動手段

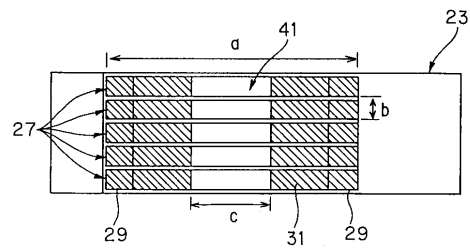
9 1 ... 紫外レーザー光源（高出力レーザー光源）

1 1 3 ... 集光レンズ

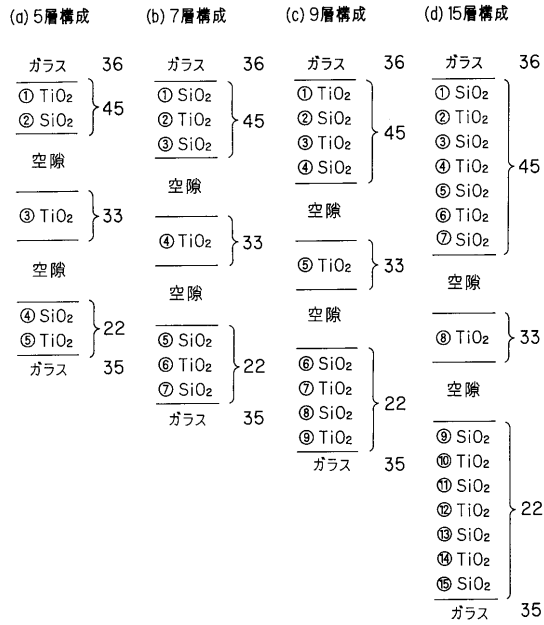
【図 1】



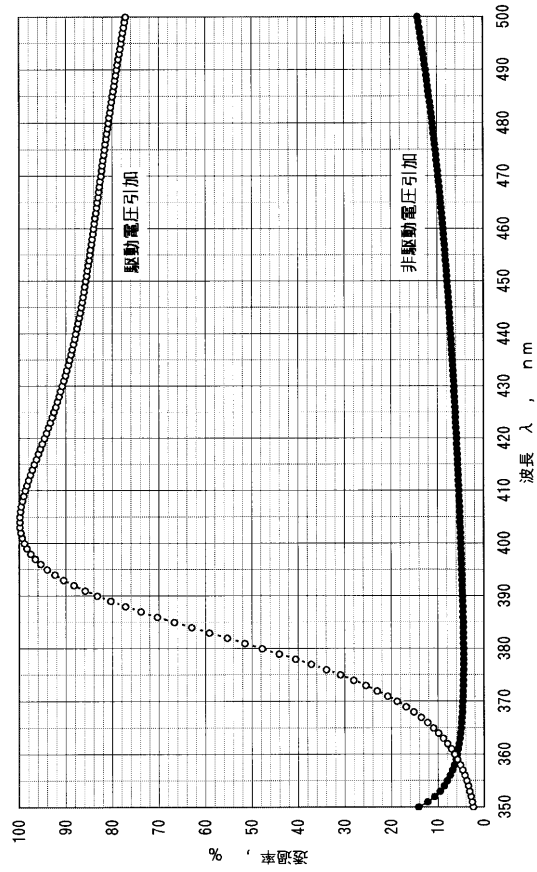
【図 2】



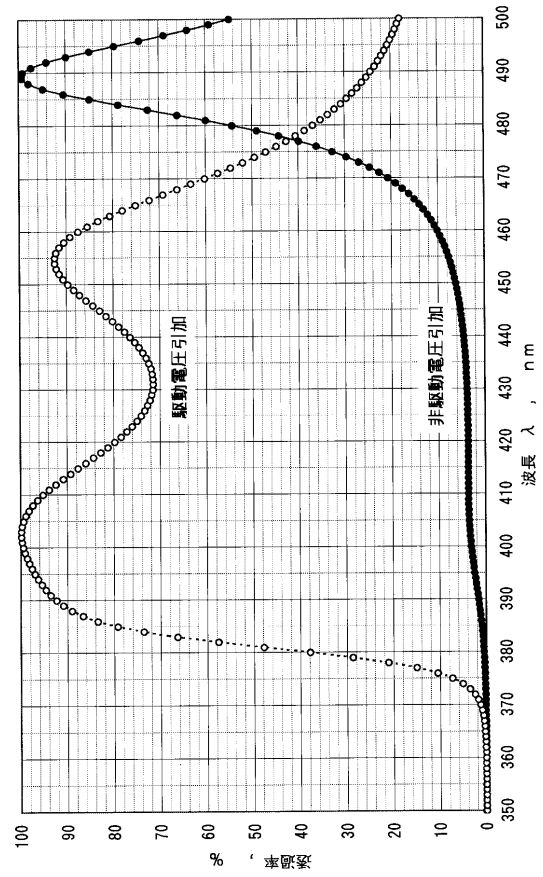
【図 3】



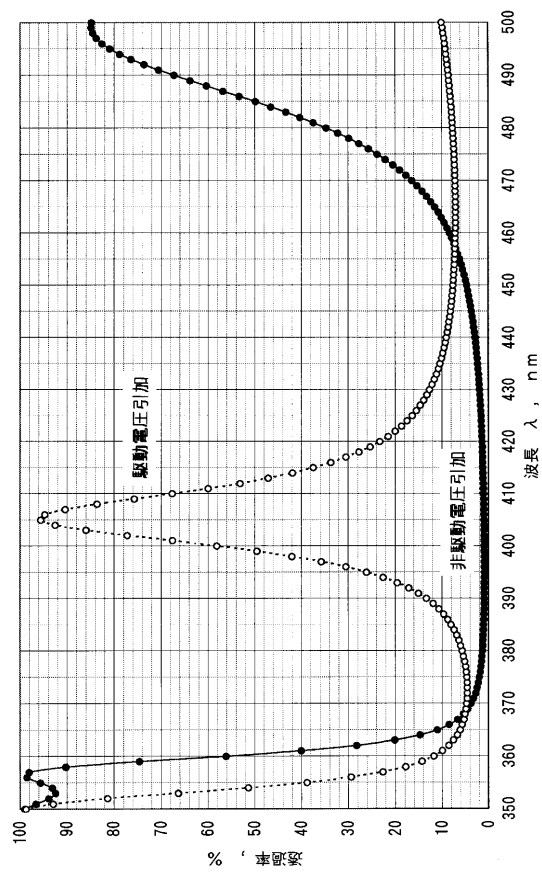
【図 7】



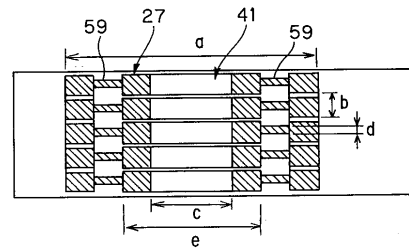
【図 8】



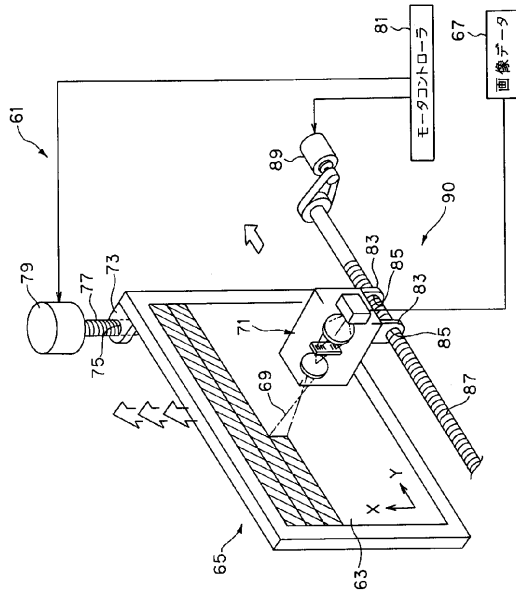
【図 9】



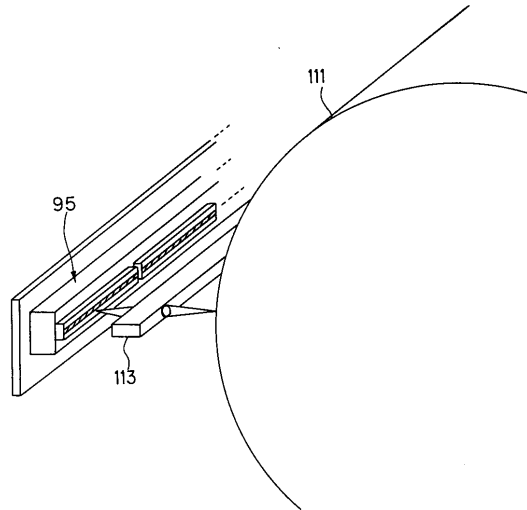
【図 10】



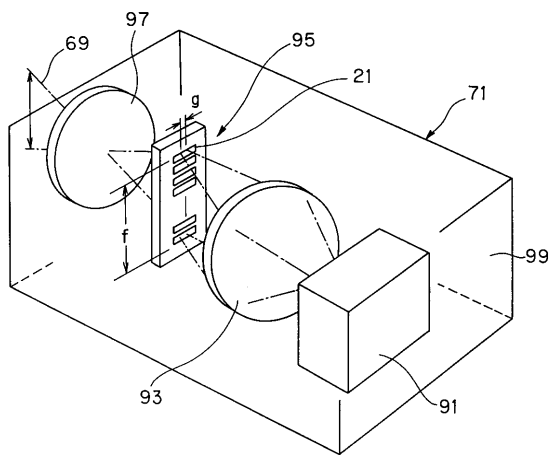
【図 1 1】



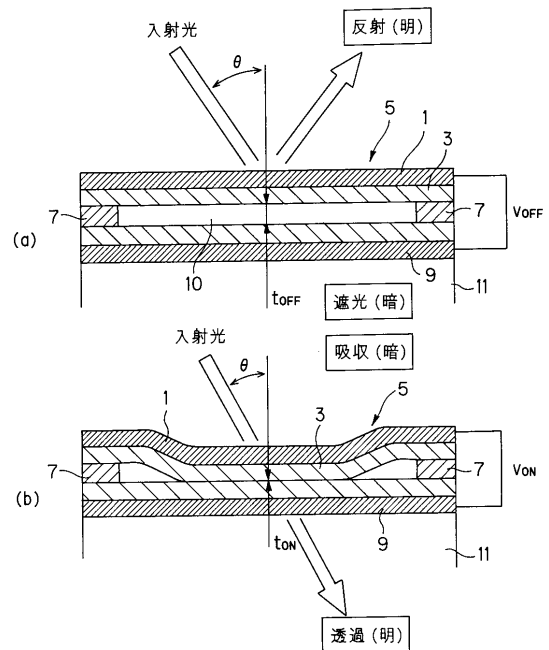
【図 1 2】



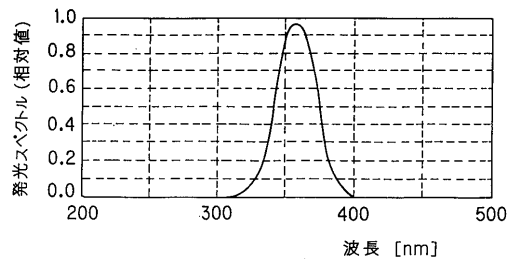
【図 1 3】



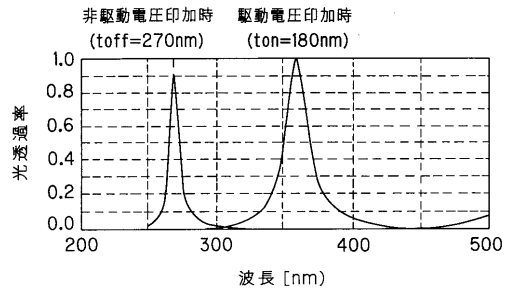
【図 1 4】



【図 15】



【図 16】



フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I
H 0 4 N 1/19 (2006.01) B 4 1 J 3/21 V
H 0 4 N 1/04 1 0 2

(73)特許権者 000005430

フジノン株式会社

埼玉県さいたま市北区植竹町 1 丁目 3 2 4 番地

(74)代理人 100105647

弁理士 小栗 昌平

(74)代理人 100105474

弁理士 本多 弘徳

(74)代理人 100108589

弁理士 市川 利光

(74)代理人 100115107

弁理士 高松 猛

(72)発明者 沢野 充

神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

(72)発明者 磯崎 真

埼玉県さいたま市植竹町 1 丁目 3 2 4 番地 富士写真光機株式会社内

審査官 三橋 健二

(56)参考文献 特開平 1 1 - 2 4 8 9 3 4 (J P , A)

特開昭 5 8 - 1 5 3 9 0 2 (J P , A)

特開 2 0 0 1 - 2 2 1 9 1 3 (J P , A)

特開平 1 1 - 1 4 2 7 5 2 (J P , A)

特開 2 0 0 0 - 1 3 1 6 2 9 (J P , A)

特開 2 0 0 3 - 0 2 9 1 6 9 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G02B 26/08

JST7580(JDream2)

JSTPlus(JDream2)