

(43) 国際公開日
2009年7月9日 (09.07.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/084692 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/03 (2006.01) G02B 3/14 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/073863
- (22) 国際出願日: 2008年12月26日 (26.12.2008)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2007-341067
2007年12月28日 (28.12.2007) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 今井 欽之 (IMAI,

Tadayuki) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 笹浦正弘 (SASURA, Masahiro) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 宮津 純 (MIYAZU, Jun) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 八木 生剛 (YAGI, Shogo) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 藤浦 和夫 (FUJIURA, Kazuo) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 谷 義一, 外 (TANI, Yoshikazu et al.); 〒1070052 東京都港区赤坂2丁目6-2 O Tokyo (JP).

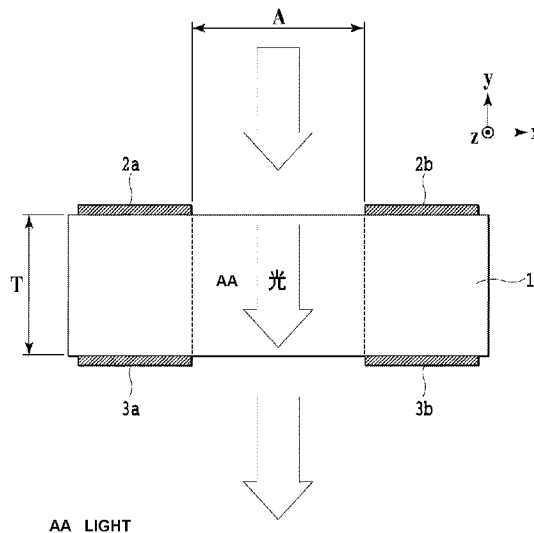
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,

[続葉有]

(54) Title: VARIABLE-FOCUS LENS

(54) 発明の名称: 可変焦点レンズ

[図1]



(57) Abstract: Provided is a variable-focus lens which can rapidly change the focal length. The variable-focus lens includes a photoelectric material and an electrode formed on the light incident plane and the light emission plane of the photoelectric material. An optical axis is set so that the light comes from a gap where no electrode is formed on the incident plane and the light goes out from a gap where no electrode is formed on the emission plane. A part of the electric line of force connecting the electrode on the incident plane and the electrode on the emission plane is bent in the gap so as to change around the optical axis, the portion of the electric field where the light transmits and change the voltage applied across the electrode of the incident plane and the electrode of the emission plane, thereby changing the focal point of the light which has transmitted through the photoelectric material.

(57) 要約: 焦点距離の変更を高速に行うことができる可変焦点レンズを提供する。電気光学材料と、該電気光学材料の光の入射面と光の出射面とに形成された電極とを備え、前記光を前記入射面の電極が形成されていない空隙から入射し、前記出射面の電極が形成されていない空隙から出射するように光軸が設定され、前記入射面の電極と前記出射面の電極とを結ぶ電気力線の—

[続葉有]



WO 2009/084692 A1



BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,

KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

明 細 書

可変焦点レンズ

技術分野

[0001] 本発明は、可変焦点レンズに関し、より詳細には、電気光学効果を有する光学材料を用いて、焦点距離を変更可能とした可変焦点レンズに関する。

背景技術

[0002] 従来、光学レンズ、プリズムなどの光学部品は、カメラ、顕微鏡、望遠鏡などの光学機器、プリンタ、コピー機など電子写真方式の記録装置、DVDなどの光記録装置、通信用、工業用の光デバイス等に用いられている。通常の光学レンズは、焦点距離が固定されているが、上述の機器、装置の中には、状況に応じて焦点距離を調整することのできるレンズ、いわゆる可変焦点レンズを用いる場合がある。従来の可変焦点レンズは、複数のレンズを組み合わせ、機械的に焦点距離を調整する。しかしながら、このような機械式の可変焦点レンズは、応答速度・製造コスト・小型化・消費電力などの点から、適用範囲を広げることには限界があった。

[0003] そこで、光学レンズを構成する透明媒質に、屈折率を可変できる物質を適用した可変焦点レンズ、光学レンズの位置を動かすのではなく、機械的に光学レンズの形状を変形させる可変焦点レンズなどが考え出された。前者の可変焦点レンズとして、光学レンズとして液晶を利用した可変焦点レンズが提案されている。この可変焦点レンズは、2枚のガラス板で液晶を挟み込むなどして、透明物質でできた容器に液晶を封じ込めている。この容器の内側を球面上に加工して、液晶をレンズ形状に成形すると、可変焦点レンズを構成することができる。この容器の内側には透明電極が設けられ、液晶に電界をかけることによって屈折率を制御し、焦点距離を可変制御する(例えば、特許文献1参照)。

[0004] 後者の可変焦点レンズとして、変形するレンズの材料は、液体が用いられることが多い。例えば、非特許文献1に記載された可変焦点レンズは、ガラス板に挟まれた空間に、シリコンオイルなどの液体を封入した構造を有している。ガラス板は、薄く加工されており、外部からチタン酸ジルコン酸鉛(PZT)ピエゾアクチュエータによって、ガ

ラス板に圧力をかけることにより、オイルとガラス板全体で構成されるレンズを変形させ、焦点位置を制御する。この可変焦点レンズの動作原理は、眼球の水晶体と同じである。

[0005] しかしながら、従来の可変焦点レンズは、機械的に焦点距離を調整する可変焦点レンズ、液晶に電界をかけて屈折率を制御する可変焦点レンズ、PZTピエゾアクチュエータによりレンズを変形させる可変焦点レンズのいずれも、焦点距離を変更するのに要する応答速度に限界があり、1ms以下の高速応答に適用することができないという問題があった。

[0006] 本発明の目的は、焦点距離の変更を高速に行うことができる可変焦点レンズを提供することにある。

[0007] 特許文献1:特開平11-64817号公報

[0008] 非特許文献1:金子卓他、「可変焦点レンズを用いた長焦点深度視覚機構」、デンソーテクニカルレビュー、Vol. 3, No. 1, p. 52-58, 1998

発明の開示

[0009] このような目的を達成するために、本発明の一実施態様は、反転対称性を有する単結晶からなる電気光学材料と、該電気光学材料の光の入射面と光の出射面とに形成された電極とを備え、前記光を前記入射面の電極が形成されていない空隙から入射し、前記出射面の電極が形成されていない空隙から出射するように光軸が設定され、前記入射面の電極と前記出射面の電極とを結ぶ電気力線の一部が前記空隙で屈曲することにより、前記光軸を中心に前記光が透過する部分の電界が変化させられ、前記入射面の電極と前記出射面の電極との間の印加電圧を変えることにより、前記電気光学材料を透過した光の焦点が可変であることを特徴とする。

[0010] 前記電気光学材料は、ペロブスカイト型単結晶材料が好適であり、典型的には tantalum niobate (KTa_{1-x}Nb_xO₃) を用いることができる。また、前記電気光学材料は、結晶の主成分が、周期律表Ia族とVa族から構成されており、Ia族はカリウムであり、Va族はニオブ、タンタルの少なくとも1つを含むことができ、さらに、添加不純物としてカリウムを除く周期律表Ia族、例えばリチウム、またはIIa族の1または複数種を含むこともできる。

[0011] 前記入射面の電極および前記出射面の電極の各々は、前記空隙を挟んで対向する辺が平行に配置されていることが好ましい。さらに、前記入射面の電極の前記対向する辺と、前記電気光学材料を挟んで対向する前記出射面の電極の前記対向する辺のそれぞれは、平行に配置されていることが好ましい。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図1は、本発明の一実施形態にかかる可変焦点レンズの構成を示す図である。
[図2]図2は、本実施形態にかかる可変焦点レンズの原理を説明するための図である。
。
[図3]図3は、可変焦点レンズの基板内部における電界成分と屈折率の分布とを示す図である。
[図4]図4は、実施例1にかかる可変焦点レンズの構成を示す図である。
[図5A]図5Aは、実施例2にかかる可変焦点レンズの光路長変調分布を示す図である。
[図5B]図5Bは、実施例2にかかる可変焦点レンズの光路長変調分布を示す図である。
[図6]図6は、実施例2にかかる可変焦点レンズにおいて光路長変調と理想的な二次曲線とのずれを示す図である。

発明を実施するための最良の形態

[0013] 以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。本実施形態の可変焦点レンズは、電気光学材料と、これに取付けた電極から構成される。電気光学効果を利用することにより、従来の可変焦点レンズと比較して、はるかに高速な応答速度を得ることができる。

[0014] 図1に、本発明の一実施形態にかかる可変焦点レンズの構成を示す。電気光学材料を板状に加工した基板1の上面(光の入射面)および下面(光の出射面)に、それぞれ1対の上部電極2a, 2bおよび下部電極3a, 3bが形成されている。上部電極2a, 2bの各々は等しい電位とし、下部電極3a, 3bの各々も等しい電位とする。光は、同電位の電極対の間の空隙を通過するように、y軸方向に光軸を設定する。上部電極2a, 2bのそれぞれは、光が透過する空隙を挟んで対向する辺がz軸に平行となるよう

に形成されており、この2つの辺の間隔をAとする。下部電極3a, 3bも同じ構成であり、その対向する辺の位置は、x軸方向において上部電極2a, 2bの対向する辺と一致、すなわち基板1を挟んで一致している。ここで、基板1の厚さをTとする。電圧を上部電極2から下部電極対3へ、またはその逆に印加することができる。

[0015] 電気光学材料は、反転対称性を有する酸化物単結晶材料が好適である。反転対称性については、詳しくは後述する。電極についても詳しくは後述する。

[0016] 図2を参照して、本実施形態にかかる可変焦点レンズの原理を説明する。図1に示した可変焦点レンズにおいて、上部電極2a, 2bに正の電圧、下部電極3a, 3bに負の電圧をかける。このとき、通常のコンデンサと同様、電界は上下に向かい合った電極同士の間を、上から下に向いた状態で発生する。また、電界は、上下の電極の間だけでなく、その周囲にも発生し、光が透過する部分にも発生する。このはみ出した電界により、電気光学材料である基板1には、電気光学効果が発生し、光が透過する部分の屈折率が変調される。

[0017] 光が透過する部分の電界分布と屈折率変調について説明する。電気光学材料は、一般的に比誘電率が1より十分に大きい。このため、基板1の内部の電界の電気力線は、表面付近では、基板表面に対して平行に近くなる(符号4a, 4b参照)。上部電極2aから右方向へ進む電気力線4aは、上部電極2aを出た後、そのまま基板1の上面にほぼ平行に進む。一方、上部電極2bから左方向へ進む電気力線4bも、上部電極2bを出た後、そのまま基板1の上面にほぼ平行に進む。2つの電気力線4a, 4bは、上部電極2a, 2bの中央でぶつかるので、そこから大きく向き変え、基板1の下方向へ進む。電気力線4a, 4bは、その後下面に達し、大きく向きを変えて、互いに反対方向に進み、それぞれ下部電極3a, 3bまで進む。このように、基板1の内部で、表面付近を進む電気力線は、同電位の電極対の間の空隙において急激に屈曲するので、この屈曲部分では電界が大きく変化する。すなわち、光軸を中心に、光が透過する部分で電界が変化して、屈折率が変調される。

[0018] 図3に、基板内部における電界成分と屈折率の分布とを示す。図3(a)は、基板1の上面付近のx軸方向の、電界成分 E_x の分布を示す。横軸は、同電位の電極対の間にある光が透過する部分のx軸方向の位置を表している。中央部を境に、左と右とで

は電気力線の向きが180度異なるため、このような分布となる。図3(b)は、同じくx軸方向の各々の位置におけるy軸方向の電界成分 E_y の分布を示す。電界成分 E_y は、符号は変わらないが、その絶対値は中央部で小さく、電極に近づくほど大きくなる。このような電界分布により、x軸方向の屈折率が変調される。

[0019] 図3(c)に、電気光学材料としてタンタル酸ニオブ酸カリウム($\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ 、以下KTNという)を用いて、光電界の向きがz方向の光を入射したときの屈折率変調を示す。基板1の中央部付近、すなわち光軸付近は、中央部からx軸方向に離れて、電極対に近い部分よりも屈折率が低いため、光は高速で進行し、中心部から電極対に近い部分ほど、光の速度は遅くなる。このため、基板1を透過した光の波面は、中央部付近よりも電極対に近い部分で遅れた形となり、凹レンズとして機能する。光が透過する部分をレンズとして考えると、集光または発散の効果の強いレンズを実現することができる。図1および図2の構成では、x軸方向にのみ集光または発散が起こり、z方向での集散は起こらないので、一般的な球面レンズではなく、いわゆるシリンドリカルレンズとして機能する。

[0020] 図1および図2の構成の可変焦点レンズをもう一組用意し、光が透過する部分の光軸を一致させて配置する。2つの可変焦点レンズを、光軸を中心に互いに90度の角度で配置することにより、2方向で集光または発散を行うことにより、球面レンズと等価な機能を実現することができる。

[0021] (電気光学材料)

電気光学効果には、いくつかの次数の異なる電気光学効果が含まれるが、一般的には、1次の電気光学効果(以下、ポッケルス効果という)と2次の電気光学効果(以下、カー効果という)が利用されている。しかし、電気光学効果の中でも、電界の自乗に比例した屈折率変調が起こる、2次の電気光学効果(カー効果)を有する材料が好適である。カー効果の場合は、図3に示したように、屈折率分布 Δn は電界成分 E_x の符号に依存しないので、レンズとして好適な左右対称形になるからである。一方、ポッケルス効果の場合は、屈折率変調は電界の1乗に比例し、電界成分 E_x による屈折率変化は左右対称とならないため、レンズとしてうまく機能しない。

[0022] また、反転対称性を有する単結晶とは、原子の配列を、ある原点を中心としてx, y,

z座標系で反転したとき、元の原子の配列と完全に同じ配列となる結晶をいう。なお、自発分極を有する材料を、座標軸上で反転すると、自発分極の向きが反転するので、このような結晶材料は反転対称性を有していない。一方、反転対称性を有する単結晶は、ポッケルス効果を有さず、カー効果が最低次の電気光学効果となる。従って、電気光学効果を有する結晶材料の中でも、反転対称性を有する単結晶が望ましい。

[0023] 結晶内部の電界の大きさは、電極に印加する電圧に比例する。また、屈折率変調は電界の自乗に比例するため、結局、屈折率変調の大きさは電圧の自乗に比例する。これにより、凹レンズの焦点距離は電圧によって制御できる。また、ここでは凹レンズとして機能すると説明したが、電気光学係数の符号は材料や光偏光によって異なるので、凸レンズを実現することもできる。

[0024] 電気光学材料は、ペロブスカイト型の結晶構造を有する単結晶材料が好適である。ペロブスカイト型単結晶材料は、使用温度を適切に選択すれば、使用状態において反転対称性を有する立方晶相となり、この立方晶相にてポッケルス効果を有さないためである。例えば、最もよく知られたチタン酸バリウム(BaTiO_3 、以下BTという)でも、120°C付近において正方晶相から立方晶相へ相転移する温度(以下、相転移温度という)を超えた温度であれば、立方晶相となり、カー効果を発現する。

[0025] さらに、KTNを主成分とする単結晶材料は、より好適な特徴を有する。BTは相転移温度が決まっているのに対し、KTNは、タンタルとニオブの組成比により、相転移温度を選択することができる。これにより、室温付近に相転移温度を設定することができる。KTNは、相転移温度よりも高い温度であれば立方晶相となり、反転対称性を有し、大きなカー効果を有する。同じ立方晶相にあっても、より相転移温度に近い方が、カー効果が圧倒的に大きくなる。このため、室温付近に相転移温度を設定することは、大きなカー効果を簡便に実現する上で、非常に重要である。

[0026] 反転対称性を有する単結晶材料として、結晶の主成分が、周期律表Ia族とVa族から構成されており、Ia族はカリウムであり、Va族はニオブ、タンタルの少なくとも1つを含む材料を用いることができる。さらに、添加不純物としてカリウムを除く周期律表Ia族、例えばリチウム、またはIIa族の1または複数種を含むこともできる。例えば、大きなカー効果を有する立方晶相のKLTN($\text{K}_{1-y}\text{Li}_y\text{Ta}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ 、 $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$)

)結晶を用いることもできる。

[0027] KTNにおいて、使用温度を相転移温度に近づけると、誘電率が急激に高くなるため、

電気光学効果が大きくなる。また、誘電率が高いと、図2に示した電気力線の屈曲が、より急激になり、レンズ効果が大きくなる。大きな電気光学効果と大きな電気力線の屈曲とを合わせた相乗効果により、例えば、KTNの比誘電率が10,000を超え、KTN基板に印加する電圧が500Vを超えると、焦点距離が1m以下となり、実用上有効な特性が得られる。

[0028] なお、KTNは、他の電気光学結晶と同様に、印加電界の向きと光電界の向きとの関係により、屈折率変調が変わる。図2の構成において、偏光は、光電界の向きがx軸方向の場合と、z軸方向の場合の2種類がある。それぞれの場合に、光が感じる屈折率変調 Δn_x と Δn_z とは、

[0029] [数1]

$$\Delta n_x = -\frac{1}{2} n_0^3 (s_{11} E_x^2 + s_{12} E_y^2)$$

$$\Delta n_z = -\frac{1}{2} n_0^3 (s_{12} E_x^2 + s_{11} E_y^2)$$

となって異なる。ここで、 n_0 は変調前の屈折率である。

[0030] また、 s_{11} と s_{12} は電気光学係数であるが、 s_{11} は正なのに対し、 s_{12} は負の値を持ち、絶対値は s_{11} の方が大きい。この特徴のため、光電界の向きがx方向の場合は凸レンズ、z方向の場合は凹レンズと、入射光の偏光状態によって機能が全く変わる。

[0031] (電極材料)

電気光学材料に高い電圧を印加すると、電極から電荷が注入され、結晶内に空間電荷が発生しうる。この空間電荷により電圧の印加方向に電界の傾斜が生じるために、屈折率の変調にも傾斜が生じる。

[0032] 従って、電気光学材料をレンズとして機能させるための所望の屈折率分布が得られなかったり、電気光学材料を透過する光が偏向しないようにするためには、基板1に電圧を印加した際に、基板1の内部に空間電荷が形成されない方がよい。空間電荷の量は、キャリアの注入効率に依存する量であるため、電極から注入されるキャリアの

注入効率は小さい方がよい。電極材料の仕事関数が大きくなるにつれて、電極と基板との間はショットキー接合に近づき、キャリアの注入効率は減少する。電気光学結晶において電気伝導に寄与するキャリアが電子の場合には、電極材料の仕事関数は、5.0eV以上であることが好ましい。例えば、仕事関数が5.0eV以上の電極材料として、Co(5.0)、Ge(5.0)、Au(5.1)、Pd(5.12)、Ni(5.15)、Ir(5.27)、Pt(5.65)、Se(5.9)を用いることができる。()内は仕事関数(eV)を示す。

[0033] 一方、電気光学結晶において電気伝導に寄与するキャリアが正孔の場合には、正孔の注入を抑えるために、電極材料の仕事関数は、5.0eV未満であることが好ましい。例えば、仕事関数が5.0eV以上の電極材料として、Ti(3.84)等を用いることができる。なお、Tiの単層電極は酸化して高抵抗になるので、一般的には、Ti/Pt/Auを積層した電極を用いて、Tiの層と電気光学結晶とを接合させる。さらに、ITO (Indium Tin Oxide)、ZnOなどの透明電極を用いることもできる。

[0034] (実施例1)

図4に、実施例1にかかる可変焦点レンズの構成を示す。電気光学材料を板状に加工した基板11の上面および下面に、それぞれ1対の上部電極12a, 12bおよび下部電極13a, 13bが形成されている。基板11は、KTN単結晶から、ブロックを切り出し、3mm×3mm×(厚さT=)1mmの形状に成形した。基板11の6面とも、結晶の(100)面に平行とし、光学研磨を行っている。このKTN単結晶は、相転移温度35℃であったので、これを少し上回る40℃で使用することとした。この温度での比誘電率は20,000である。

[0035] 上部電極12a, 12b、下部電極13a, 13bのそれぞれは、0.6mm×2.6mmの方形で、白金(Pt)を蒸着して形成されている。そして、光が透過する空隙を挟んで対向する辺を平行に配置してあり、この2つの辺の間隔Aは1.4mmである。

[0036] 実施例1の可変焦点レンズを、40℃で温度制御した状態で、コリメートしたレーザー光を、上部電極12a, 12bの間の空隙に入射する。光の偏光は直線で、振動電界の方向はz軸方向である。上下電極間に500Vの電圧を印加すると、下部電極13a, 13bの間から出射する光は、x軸方向に広がり、シンドリカル凹レンズとして機能する。焦点距離は25cmである。ここで、印加電圧を250Vにすると、広がり小さくなり、

焦点距離は約1mになる。すなわち、印加電圧により、焦点距離を変化させることができる。焦点距離の変更は、印加電圧を変更するだけなので、応答時間は1 μ s以下であり、従来の可変焦点レンズの応答時間と比較して、3桁以上改善されている。

[0037] また、光の進行方向はそのままに、偏光を90度回転させて測定を行う。つまり、光の振動電界の方向をx軸方向とする。この場合は、凸レンズとして機能する。印加電圧が500Vのとき、焦点距離は19cmであり、印加電圧によって焦点距離を変化させることができる。

[0038] (実施例2)

レンズの特性は、基板1を透過することによって光が受ける光路長変調によって表される。光路長変調 Δs とは、電気光学材料を透過する間の経路にわたって、屈折率変調 Δn を積分したものである。上述したように、屈折率変調はxとyとの関数であるため、これを $\Delta n(x, y)$ とする。屈折率変調 Δn はzには依存しない。本実施形態にかかる可変焦点レンズは、y軸方向に光が伝搬するので、光路長変調 Δs は、

[0039] [数2]

$$\Delta s = \int \Delta n(x, y) dy$$

となり、yには依存せずxのみの関数となる。すなわち、光を集散させるx軸方向でのみ変化し、z軸方向には変化しない。

[0040] 図5A, Bに、実施例2にかかる可変焦点レンズの光路長変調分布を示す。図5Aは、上部電極および下部電極の間隔 $A = 2\text{mm}$ の場合の光路長変調分布を示し、図5Bは、間隔 $A = 1\text{mm}$ の場合の光路長変調分布を示す。基板1は、いずれの場合も厚さ $T = 1\text{mm}$ の電気光学材料を使用している。横軸は、x軸方向の位置を表し、光が透過する部分の中央を原点としている。縦軸は、光路長変調 Δs である。いずれも、光電界がx軸方向に向いている場合の光路長変調 (ΔS_x) は上に凸であり、凸レンズとして機能していることを表している。なお、光電界がz軸方向に向いている場合の光路長変調 (ΔS_z) は下に凸であり、凹レンズとして機能していることを表す。

[0041] 図5A, Bの曲線は、二次曲線へのフィッティングの結果を示している。理想的には、この二次曲線に従うことが望ましいが、いずれの場合もわずかにずれが存在している。さらに、図5Aは、図5Bと較べて二次曲線からのずれが大きい。これは、各電極から

光が透過する部分へ広がる電気力線は、基板1の厚さTによって決定される範囲内しか広がらないからである。すなわち、上部電極と下部電極との間に同じ電圧を印加したとき、上部電極および下部電極の間隔Aが広すぎる(図5Aの場合)と、光が透過する部分の中央に電気力線が届かず、電気光学効果が小さくなり、屈折率変調も小さくなるからである。

[0042] 図6に、実施例2にかかる可変焦点レンズにおいて光路長変調と理想的な二次曲線とのずれを示す。横軸は、電極対の間の空隙の間隔Aと基板1の厚さTとの比 $R (=A/T)$ を示す。縦軸は、実際の光路長変調 Δs と理想的な二次曲線とのずれ量のピーク・ピーク値を示す。すなわち、間隔Aと厚さTとを決めて実際の光路長変調(図5A, Bのプロット○、□)を求めて、図5A, Bに示したフィッティングを行い、x座標が空隙の間隔Aの範囲にわたって、ずれ量の最小値と最大値を求め、そのふれ幅をピーク・ピーク値として示している。Rが大きい場合は、光が透過する部分の中央に電気力線が届かず、光路長変調 Δs のずれ量が大きくなるので、Rをある程度小さく設定しておくことが望ましい。実用上、光路長変調 Δs のずれ量の目安は、光波長程度(およそ $1\ \mu\text{m}$)であることから、Rを1.5以下にすることが望ましい。

[0043] 上記実施例1においては、上部電極12a, 12bは、それぞれ独立した電極として示しているが、基板11内部の電界分布に不要な乱れを与えない限り、基板11の上面で結合または他の方法で結合された1つの電極であつても構わない。同様に、下部電極13a, 13bも、基板11内部の電界分布に不要な乱れを与えない限り、結合された1つの電極であつてもよい。

[0044] 上記実施例1においては、上部電極12a, 12bと下部電極13a, 13bの対向する辺は、基板11を挟んでx軸方向において一致しているが、完全に一致している必要はなく、互いに平行であればよい。

[0045] 上記実施例においては、上部電極および下部電極を方形として示したが、光の透過する空隙を挟んで対向する辺を除いた形状は、レンズ作用に影響しないため、任意の形状であつてよい。さらに、光の透過する領域の外延から、電極の間隔Aまたは基板の厚さTと同程度、またはそれ以上z軸方向に離れたところについては、空隙を挟んで対向する辺であつても、任意の形状であつてよい。

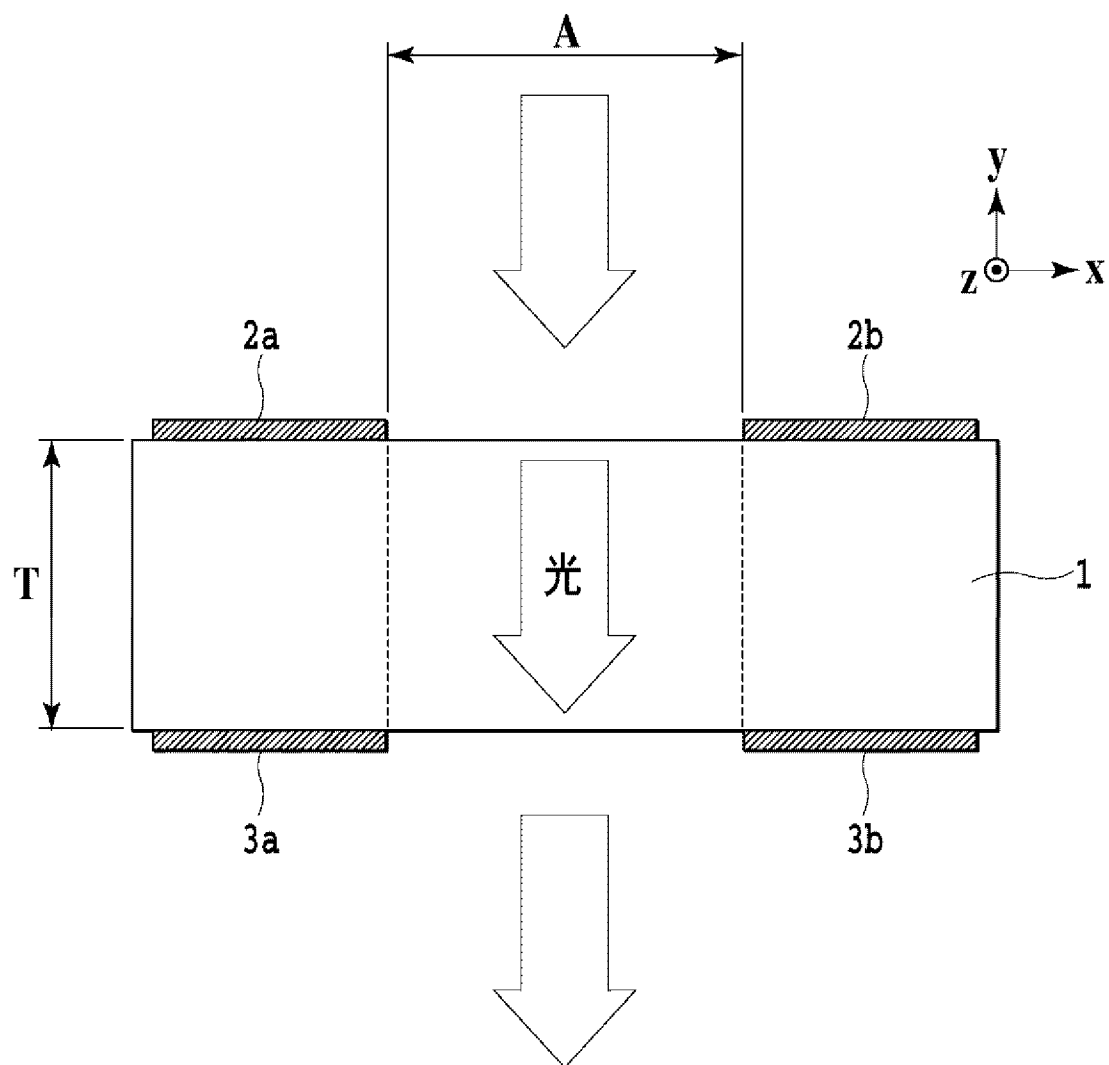
請求の範囲

- [1] 反転対称性を有する単結晶からなる電気光学材料と、該電気光学材料の光の入射面と光の出射面とに形成された電極とを備え、
前記光を前記入射面の電極が形成されていない空隙から入射し、前記出射面の電極が形成されていない空隙から出射するように光軸が設定され、
前記入射面の電極と前記出射面の電極とを結ぶ電気力線の一部が前記空隙で屈曲することにより、前記光軸を中心に前記光が透過する部分の電界が変化させられ、
前記入射面の電極と前記出射面の電極との間の印加電圧を変えることにより、前記電気光学材料を透過した光の焦点が可変であることを特徴とする可変焦点レンズ。
- [2] 前記電気光学材料は、ペロブスカイト型単結晶材料であることを特徴とする請求項1に記載の可変焦点レンズ。
- [3] 前記電気光学材料は、タンタル酸ニオブ酸カリウム($\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$)であることを特徴とする請求項2に記載の可変焦点レンズ。
- [4] 前記電気光学材料は、結晶の主成分が、周期律表Ia族とVa族から構成されており、Ia族はカリウムであり、Va族はニオブ、タンタルの少なくとも1つを含むことを特徴とする請求項2に記載の可変焦点レンズ。
- [5] 前記電気光学材料は、さらに、添加不純物としてカリウムを除く周期律表Ia族、例えばリチウム、またはIIa族の1または複数種を含むことを特徴とする請求項4に記載の可変焦点レンズ。
- [6] 前記電極は、前記電気光学材料とショットキー接合が形成される材料であることを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の可変焦点レンズ。
- [7] 前記入射面の電極および前記出射面の電極の各々は、前記空隙を挟んで対向する辺が平行に配置されていることを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の可変焦点レンズ。
- [8] 前記入射面の電極の前記対向する辺と、前記電気光学材料を挟んで対向する前記出射面の電極の前記対向する辺のそれぞれは、平行に配置されていることを特徴とする請求項7に記載の可変焦点レンズ。
- [9] 前記入射面の電極の前記対向する辺と、前記電気光学材料を挟んで対向する前

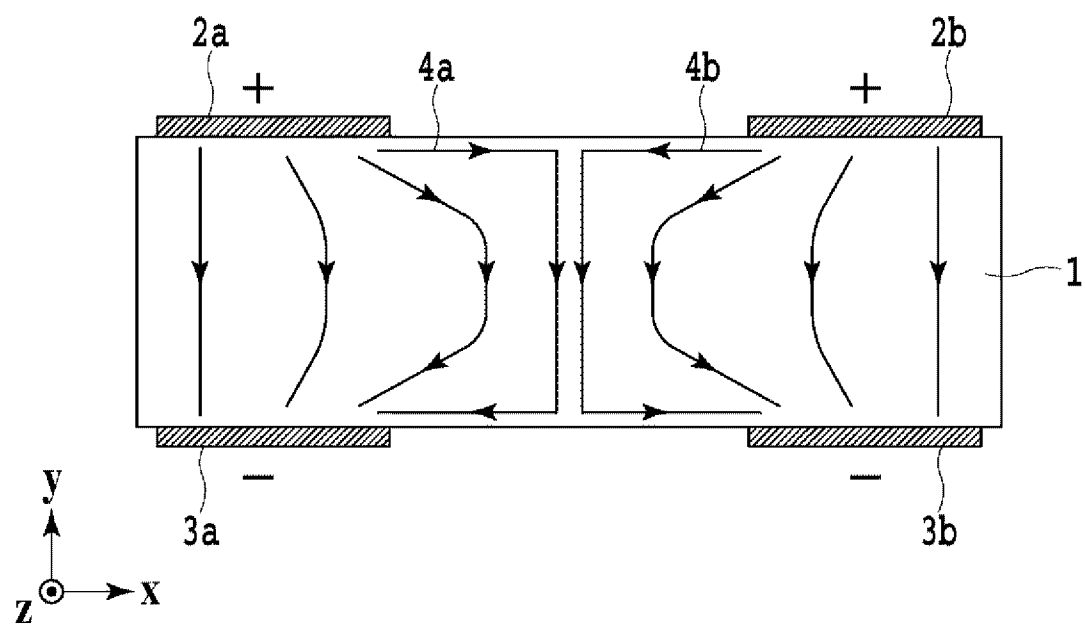
記出射面の電極の前記対向する辺のそれぞれは、前記電気光学材料を挟んで一致した位置に配置されていることを特徴とする請求項8に記載の可変焦点レンズ。

- [10] 前記空隙を挟んで対向する辺の間隔Aと前記電気光学材料の厚さTとの比 $R = A / T$ は、1.5以下であることを特徴とする請求項7、8または9に記載の可変焦点レンズ。

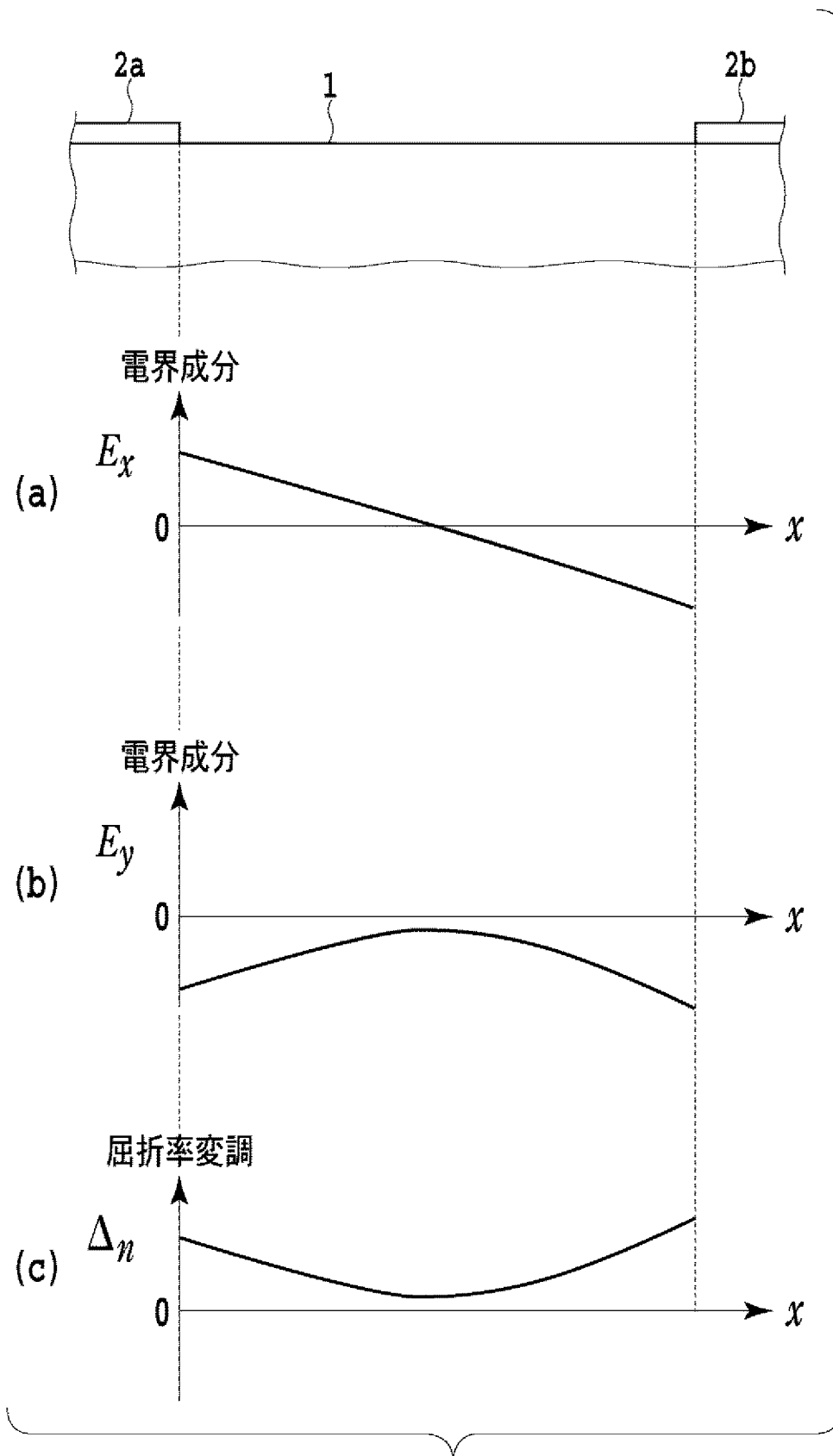
[図1]



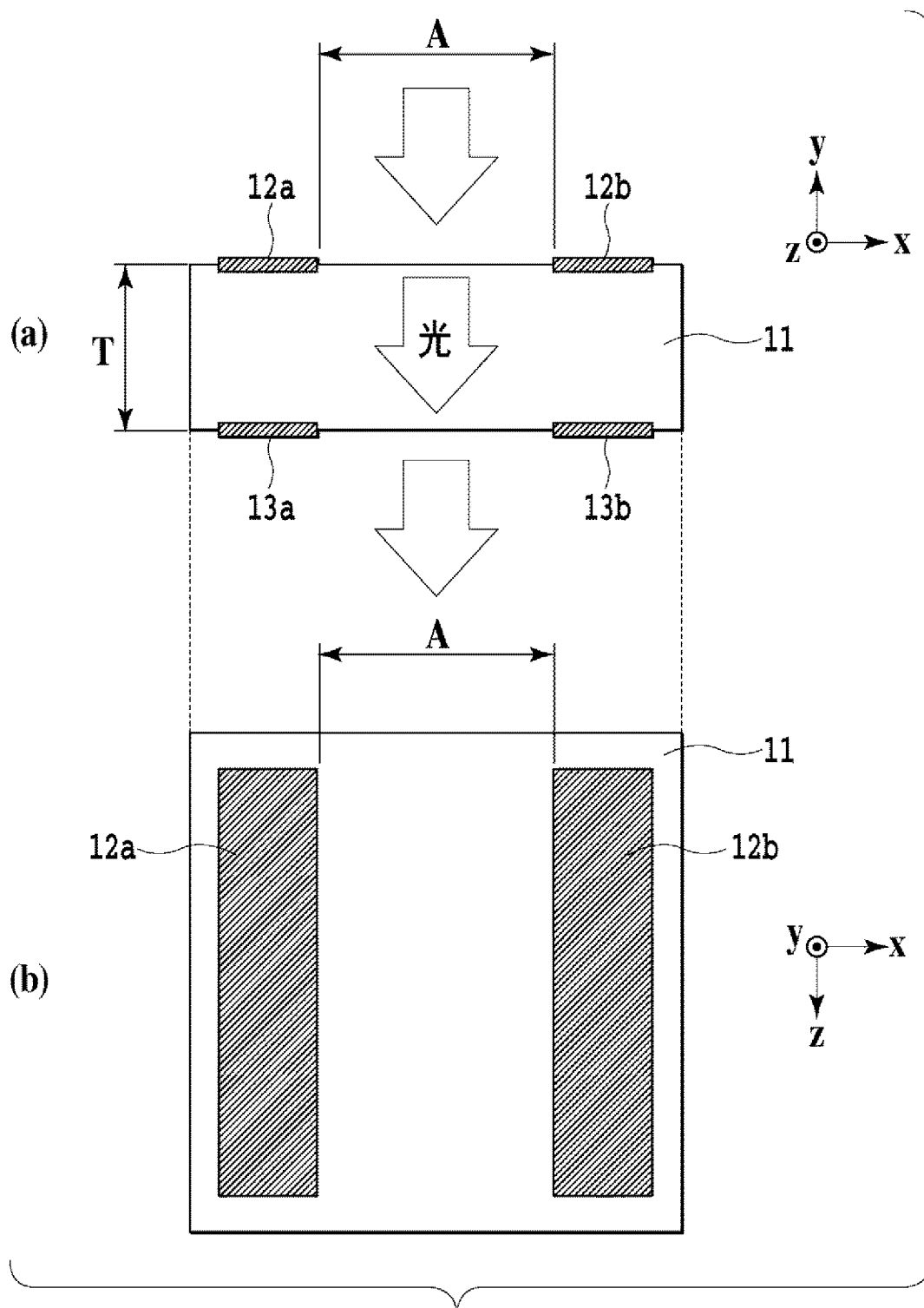
[図2]



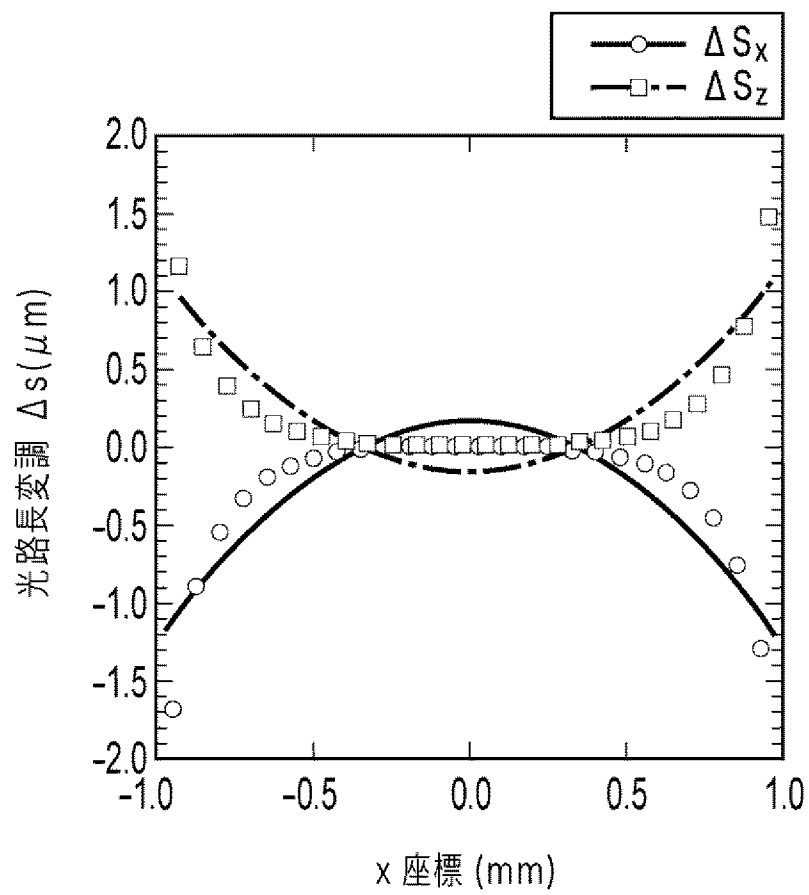
[図3]



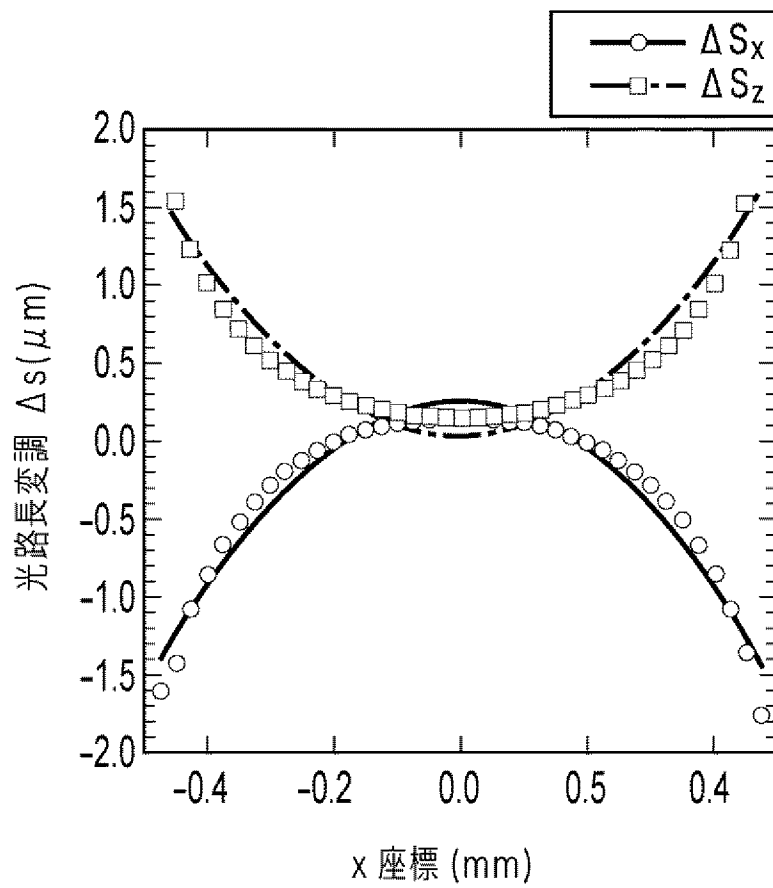
[図4]



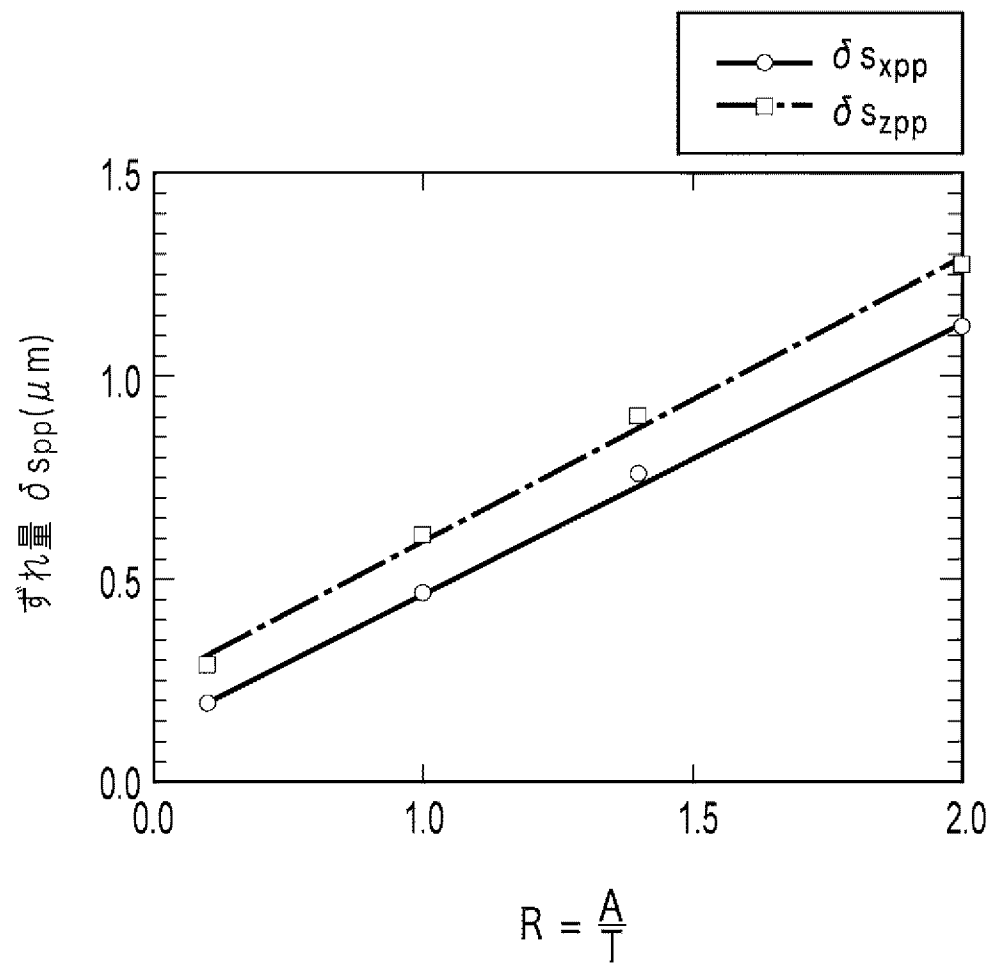
[図5A]



[図5B]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/073863

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/03 (2006.01) i, G02B3/14 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02F1/00-1/39, G02B3/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	P 2001-194690 A (Minolta Co., Ltd.), 09 July, 2001 (09.07.01), Par. Nos. [0055] to [0093]; Figs. 1 to 19 & US 2001/0055145 A1	1-9 10
Y	JP 2007-310104 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 29 November, 2007 (29.11.07), Claims; Par. Nos. [0021] to [0063]; Figs. 1 to 13 (Family: none)	1-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
16 March, 2009 (16.03.09)

Date of mailing of the international search report
24 March, 2009 (24.03.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/073863

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2006/137408 A1 (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 28 December, 2006 (28.12.06), Claims; Par. Nos. [0027] to [0108]; Figs. 1 to 31 & EP 1898258 A1 & CA 2611613 A & CN 1185020 A & KR 10-2008-0007372 A	1-9
P,X P,A	JP 2009-14793 A (Sunx Ltd.), 22 January, 2009 (22.01.09), Full text; all drawings (Family: none)	1-9 10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G02F1/03(2006.01)i, G02B3/14(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G02F1/00-1/39, G02B3/14

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2009年
日本国実用新案登録公報	1996-2009年
日本国登録実用新案公報	1994-2009年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	J P 2 0 0 1 - 1 9 4 6 9 0 A (ミノルタ株式会社) 2 0 0 1 . 0 7 . 0 9 , 段落【0 0 5 5】-【0 0 9 3】, 図1-19 & U S 2 0 0 1 / 0 0 5 5 1 4 5 A 1	1-9 10
Y	J P 2 0 0 7 - 3 1 0 1 0 4 A (日本電信電話株式会社) 2 0 0 7 . 1 1 . 2 9 , 特許請求の範囲, 段落【0 0 2 1】-【0 0 6 3】, 図1-13 (ファミリーなし)	1-9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

16.03.2009

国際調査報告の発送日

24.03.2009

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

河原 正

2 X

9 0 1 7

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	WO 2 0 0 6 / 1 3 7 4 0 8 A 1 (日本電信電話株式会社) 2 0 0 6 . 1 2 . 2 8 , 特許請求の範囲, 段落【0 0 2 7】－【0 1 0 8】, 図1－3 1 & EP 1 8 9 8 2 5 8 A 1 & CA 2 6 1 1 6 1 3 A & CN 1 1 8 5 0 2 0 A & KR 1 0－2 0 0 8－0 0 0 7 3 7 2 A	1-9
P, X P, A	J P 2 0 0 9－1 4 7 9 3 A (サンクス株式会社) 2 0 0 9 . 0 1 . 2 2 , 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-9 10