

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010年3月4日(04.03.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/023835 A1

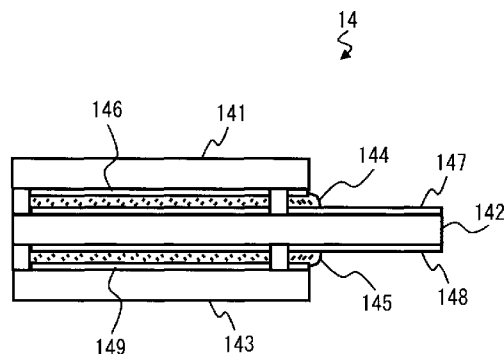
- (51) 国際特許分類:
G11B 7/135 (2006.01) G02F 1/1343 (2006.01)
G02F 1/13 (2006.01) G02F 1/1347 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/003880
- (22) 国際出願日: 2009年8月12日(12.08.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-217871 2008年8月27日(27.08.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日立マクセル株式会社 (Hitachi Maxell, Ltd.) [JP/JP]; 〒5678567 大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 金井友範 (KANAI, Tomonori) [JP/JP]; 〒5678567 大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号日立マクセル株式会社内 Osaka (JP). 島野健 (SHIMANO, Takeshi) [JP/JP]; 〒5678567 大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号日立マクセル株式会社内 Osaka (JP). 向尾将樹 (MUKOH, Masaki) [JP/JP]; 〒5678567 大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号日立マクセル株式会社内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 家入健 (IEIRI, Takeshi); 〒2210835 神奈川県横浜市神奈川区鶴屋町三丁目33番8アサヒビルディング10階響国際特許事務所 Kanagawa (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, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, 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, 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, PE, 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, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

[続葉有]

(54) Title: LIQUID CRYSTAL ELEMENT AND OPTICAL PICKUP OPTICAL SYSTEM

(54) 発明の名称: 液晶素子及び光ピックアップ光学系

[図2]



(57) Abstract: A liquid crystal element (14) includes a first transparent electrode layer (146) which drives a first liquid crystal layer (144) and a second transparent electrode layer (147). The first transparent electrode layer (146) applies voltage to the first liquid crystal layer (144) so as to have a portion which assigns a phase difference substantially periodically changing along the radial direction of the laser beam within a range not smaller than $-h\lambda$ and not greater than $+h\lambda$ (wherein, h is an integer satisfying $h \geq 1$; and λ is a design wavelength), to a laser beam passing through the liquid crystal element (14), and which assigns a phase difference $h\lambda$ between laser beams transmitting through adjacent transparent electrodes of the first transparent electrode layer (146). The second transparent electrode layer (147) applies voltage to the first liquid crystal layer (144) so that the first liquid crystal layer (144) assigns a phase difference substantially continuously changing along the radial direction of the laser beam, to the laser beam passing through the liquid crystal element (14).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2010/023835 A1



CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, 添付公開書類:
TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

第 1 の液晶層 144 を駆動する第 1 の透明電極層 146 及び第 2 の透明電極層 147 を備える液晶素子 14 であって、第 1 の透明電極層 146 は、第 1 の液晶層 144 が、液晶素子 14 を透過するレーザ光に、 $-h\lambda$ 以上、 $+h\lambda$ 以下の範囲内 (h は、 $h \geq 1$ を満たす整数、 λ は設計波長) で、レーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与するとともに、第 1 の透明電極層 146 の隣り合う透明電極を透過するレーザ光間に $h\lambda$ の位相差を付与する部分を有するように、第 1 の液晶層 144 に電圧を印加し、第 2 の透明電極層 147 は、第 1 の液晶層 144 が、液晶素子 14 を透過するレーザ光に、レーザ光の径方向に沿って略連続的に変化する位相差を付与するように、第 1 の液晶層 144 に電圧を印加するように構成した。

明 細 書

発明の名称： 液晶素子及び光ピックアップ光学系

技術分野

[0001] 本発明は、液晶素子及び光ピックアップ光学系に関する。

背景技術

[0002] 最近、大画面薄型ディスプレイの普及により、高精細度で映像などを記録するニーズが高まっている。これに伴い、BD (Blu-ray Disc) などの光ディスクの記録容量の増大も図られている。例えば、記録層の多層化が試みられ、既に、50GBの2層BDも商品化されている。

多層光記録媒体を光ピックアップ光学系で記録再生する場合、多層光記録媒体の表面から各記録層までの厚み（基板厚み）の違いによって球面収差が発生する。球面収差は開口数 (NA: Numerical Aperture) の4乗に比例する。また、BDのNAは0.85であり、DVD (Digital Versatile Disc) のNAは0.65である。そのため、DVDなどの従来の光ディスクに比べて、BDを記録再生する際に発生する球面収差は増大しやすい。したがって、BDを記録再生する光ピックアップ光学系では、各記録層の基板厚みの違いに基づく球面収差を低減する補正機構が必須である。

[0003] また、BD用の対物レンズの材質として、ガラス、プラスチックなどが検討されている。プラスチックの生産性は、ガラスよりも優れる。しかし、プラスチックの温度変化に伴う屈折率変化は、ガラスよりも大きい。そのため、プラスチックにより形成された対物レンズにおいて発生する球面収差は、温度変化によっても増大しやすい。したがって、温度変化によって発生する球面収差を低減する補正機構の開発も望まれている。

[0004] 球面収差の補正技術としては、対物レンズの結像倍率を変化させるものがある。対物レンズの結像倍率を変化させることにより、基板厚みの違いに基づく球面収差と反対の符号を持つ球面収差を発生させ、球面収差の低減を図

っている。特許文献1には、対物レンズの結像倍率を変化させるため、光源と対物レンズとの間に配置されたコリメータレンズの位置を可動させる技術が記載されている。これにより、DVDとCD（Compact Disc）との互換を行っている。

また、特許文献2には、光ピックアップ光学系における各レンズを可動させ、各レンズ間の間隔を変化させる技術が記載されている。これにより、2層光記録媒体における各記録層の基板厚みの違いに基づく球面収差を低減している。

[0005] また、他の球面収差の補正技術としては、補正機能を持った液晶素子を用いるものがある。例えば、特許文献3には、対物レンズと液晶素子をアクチュエータに搭載し、対物レンズと液晶素子とを一体的に可動する技術が記載されている。これにより、トラッキングに伴う軸ズレによる収差劣化を防止している。また、液晶素子駆動信号とアクチュエータ駆動信号とを重畳することにより、アクチュエータに接続する弾性支持体の数を減らす技術も記載されている。

[0006] また、特許文献4には、液晶素子を駆動する半導体素子をアクチュエータに搭載し、当該半導体素子を駆動する駆動信号のみをアクチュエータの弾性支持体を介して導通する技術が記載されている。これにより、弾性支持体の数をさらに低減している。

[0007] また、特許文献5には、各記録層の基板厚みの違いに基づく球面収差を補正する液晶素子と、各光記録媒体の記録層の基板厚みのばらつきなどに基づく球面収差を補正する液晶素子とを備える光ピックアップ光学系が記載されている。

[0008] また、特許文献6には、2枚の透明基板と、当該2枚の透明基板間に挟持された液晶層と、からなる液晶素子を備える光ピックアップ光学系が記載されている。特許文献6では、一方の透明基板の液晶層側にブレーズ格子を設けている。また、2枚の透明基板のそれぞれに、輪帯状に形成された大きさの異なる複数の透明電極が光軸を同心として同心円状に配置された透明電極

層を設けている。そして、グレーズ格子が設けられた透明基板の透明電極層に電圧を印加することにより、各記録層の基板厚みの違いに基づく球面収差を補正し、もう一方の透明基板の透明電極層に電圧を印加することにより、各光記録媒体の記録層の基板厚みのばらつきなどに基づく球面収差を補正している。

- [0009] また、特許文献7には、2枚の透明基板に挟持された液晶層を有する液晶素子が記載されている。そして、一方の透明基板に、各記録層の基板厚みの違いに基づく球面収差を補正する第1の透明電極層を設け、他方の透明基板に、各光記録媒体の記録層の基板厚みのばらつきなどに基づく球面収差を補正する第2の透明電極層を設けている。第1の透明電極層及び第2の透明電極層は、輪帯状に形成された大きさの異なる複数の透明電極が光軸を同心として同心円状に配置されてなる。また、位相差が波長の整数倍であることは位相差がないのと同じであることを利用して、第1の透明電極層に電圧を印加して発生させる位相差を低減している。具体的には、第1の透明電極層に電圧を印加することにより、各記録層の基板厚みの違いに基づく球面収差を補正するために必要な位相差から波長の整数倍の位相差を差し引いた位相差を発生させている。これにより、液晶層の厚みの低減を図っている。

先行技術文献

特許文献

- [0010] 特許文献1：特開平10-134400号公報
特許文献2：特開2001-028147号公報
特許文献3：特開2002-117568号公報
特許文献4：特開2007-102891号公報
特許文献5：特開2006-085801号公報
特許文献6：特開2006-048818号公報
特許文献7：特開2005-302248号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] しかしながら、特許文献 1 及び 2 では、レンズを駆動する機構が必要となるため、光ピックアップ光学系が大型になってしまうという問題がある。

また、特許文献 3 及び 4 では、アクチュエータに液晶素子を搭載するため、アクチュエータが大型になってしまうという問題がある。また、アクチュエータの重量が増加するため、アクチュエータの周波数応答性能が劣化する。そのため、高速な信号再生の障害となるという問題がある。

また、特許文献 5 では、液晶素子が 2 つ必要となるため、部品点数の増加、装置の大型化、高コスト化を招くという問題がある。

[0012] また、特許文献 6 では、半径方向において、一方の透明基板に設けられる透明電極の位置と、他方の透明基板に設けられる透明電極の位置とを合わせる必要がある。そのため、収差補正の自由度が低下するという問題がある。例えば、2 層 BD のそれぞれの記録層の基板厚みが 0.075 mm、0.1 mm である場合、各記録層の基板厚みの違いに基づく球面収差を補正するための位相差を付与する透明電極層の各透明電極の輪帯幅が広くなる。そのため、各光記録媒体の記録層の基板厚みのばらつきなどに基づく球面収差を補正するための位相差を付与する透明電極層の各透明電極の輪帯幅も広くなり、連続的な位相成分を発生させることができなくなる。結果として、例えば、補正可能な基板厚みのばらつきの範囲は、 0.075 ± 0.005 mm、 0.1 ± 0.005 mm 程度になってしまう可能性がある。この場合、レーザ光源の出射光束の波長のばらつき、対物レンズのばらつき、温度変化による球面収差の変化などに基づく様々な収差を補正することはできない。

[0013] また、特許文献 7 では、各記録層の基板厚みの違いに基づく球面収差を補正する第 1 の透明電極層の透明電極数が多く、各透明電極に異なる電圧を付与する必要がある。そのため、各透明電極からの引き出し電極が多くなり、液晶素子表面における引き出し電極の配線部分が占める割合が大きくなる。そのため、引き出し電極の配線部分において大きな収差が発生してしまうという問題がある。

[0014] 本発明は、このような問題点を解決するためになされたものであり、大きな収差を略連続的に補正可能な液晶素子及び光ピックアップ光学系を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0015] 本発明にかかる液晶素子は、第1の透明基板と、前記第1の透明基板と対向する第2の透明基板と、前記第1の透明基板と前記第2の透明基板との間に挟持される屈折率異方性媒質層とを備えている。また、当該液晶素子は、前記第1の透明基板に、略輪帯状に形成された大きさの異なる複数の第1の透明電極が光軸を中心として同心円状に配設されてなる第1の透明電極層と、前記第2の透明基板に、略輪帯状に形成された大きさの異なる複数の第2の透明電極が光軸を中心として同心円状に配設されてなる第2の透明電極層と、を備えている。また、前記第1の透明電極層において、略同じ値の電圧を印加する前記第1の透明電極が前記第1の透明基板の径方向に略周期的に配設されている。また、前記第1の透明電極層は、前記屈折率異方性媒質層が、前記液晶素子を透過する光束に、 $-h\lambda$ 以上、 $+h\lambda$ 以下の範囲内（ h は、 $h \geq 1$ を満たす整数、 λ は設計波長）で、光束の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与するとともに、隣り合う前記第1の透明電極を透過する光束間に $h\lambda$ の位相差を付与する部分を有するように、前記屈折率異方性媒質層に電圧を印加する。また、前記第2の透明電極層は、前記屈折率異方性媒質層が、前記液晶素子を透過する光束に、光束の径方向に沿って略連続的に変化する位相差を付与するように、前記屈折率異方性媒質層に電圧を印加するものである。

[0016] 本発明においては、第1の透明電極層において、略同じ値の電圧を印加する第1の透明電極が第1の透明基板の径方向に略周期的に配設されている。また、第1の透明電極層によって電圧が印加されることにより、屈折率異方性媒質層が、液晶素子を透過する光束に、 $-h\lambda$ 以上、 $+h\lambda$ 以下の範囲内で、光束の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与する。これにより、液晶素子は、液晶素子を透過する光束に、 -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大

きな位相差を付与することができる。具体的には、位相差が波長の整数倍であることは位相差がないのと同じであるため、 -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差は、当該位相差から波長の整数倍の位相差を差し引いたものと等価である。 -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差から波長の整数倍の位相差を差し引くと、 -1λ 以上、 $+1\lambda$ 以下の範囲内で、光束の径方向に沿って略周期的に変化する位相差となる。そのため、屈折率異方性媒質層が、液晶素子を透過する光束に、 -1λ 以上、 $+1\lambda$ 以下の範囲内（この場合、 $h=1$ ）で、光束の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与することにより、当該光束に、 -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差を付与することができる。

また、第1の透明電極層によって電圧が印加されることにより、屈折率異方性媒質層は、隣り合う第1の透明電極を透過する光束間に $h\lambda$ の位相差を付与する部分を有する。そして、第1の透明電極層によって電圧が印加された屈折率異方性媒質層は、このような位相差を光束に付与することにより、光束に、デフォーカス収差を発生させることができる。そして、当該デフォーカス収差により、球面収差を補正することができる。また、当該デフォーカス収差は、 -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差に基づくものである。そのため、当該デフォーカス収差量は大きな値となる。したがって、第1の透明電極層によって屈折率異方性媒質層に電圧を印加することにより、液晶素子を透過する光束に、 $-h\lambda$ 以上、 $+h\lambda$ 以下の範囲内の比較的制限された位相差を付与するだけで、 -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差に基づく大きなデフォーカス収差を発生させることができ、大きな球面収差を補正することができる。

[0017] しかし、第1の透明電極層によって屈折率異方性媒質層に電圧を印加することにより、液晶素子を透過する光束に発生されるデフォーカス収差は、離散的な値となってしまう。そこで、本発明においては、第2の透明電極層によって電圧が印加されることにより、屈折率異方性媒質層が、液晶素子を透過する光束に、光束の径方向に沿って略連続的に変化する位相差を付与する

。これにより、液晶素子を透過する光束に所定の範囲内で略連続的な値の収差を発生させることができる。そして、第1の透明電極層によって電圧が印加されることにより、屈折率異方性媒質層が、液晶素子を透過する光束に付与する離散的なデフォーカス収差と、当該略連続的な値のデフォーカス収差とが合わさる。したがって、第1の透明電極層及び第2の透明電極層によって電圧が印加されることにより、屈折率異方性媒質層が、液晶素子を透過する光束に -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差に基づく大きなデフォーカス収差であって略連続的なデフォーカス収差を発生させることができる。これにより、当該液晶素子は、大きな収差を略連続的に補正することができる。

[0018] また、前記液晶素子により、当該液晶素子を透過する光束に収差を発生させることにより補正する球面収差量の範囲が $-S$ 以上、 $+S$ 以下（ S は正の数）である場合に、前記第1の透明電極層は、前記屈折率異方性媒質層が、前記液晶素子を透過する光束に、 $-(i/j)S$ （ j が奇数の場合、 i は、 $i \leq j$ を満たす偶数、 j が偶数の場合、 i は、 $i \leq j$ を満たす奇数）、 0 、 $+(i/j)S$ の球面収差量を補正するような収差を発生させるように、前記屈折率異方性媒質層に電圧を印加することが好ましい。

さらに、前記第2の透明電極層は、前記屈折率異方性媒質層が、前記液晶素子を透過する光束に、 $-(1/j)S$ 以上、 $+(1/j)S$ 以下の範囲内で略連続的な値の球面収差量を補正するような収差を発生させるように、前記屈折率異方性媒質層に電圧を印加することが好ましい。

[0019] これにより、液晶素子を透過する光束に発生させた収差により補正する球面収差量の範囲を任意の数 $2j$ で等分し、第1の透明電極層を駆動することにより、屈折率異方性媒質層は、等分して得られる離散的な値の球面収差量（ $-(i/j)S$ 、 0 、 $+(i/j)S$ ）を補正するようなデフォーカス収差を当該光束に発生させる。このとき、第2の透明電極層を駆動することにより、 $-(1/j)S$ 以上、 $+(1/j)S$ 以下の範囲内で略連続的な値の球面収差を補正するような収差を当該光束に発生させると、当該光束に、一

S 以上、+S 以下の球面収差量を略連続的に補正するような収差を発生させることができる。そして、j の数を大きくする程、第 2 の透明電極層を駆動することにより、当該光束に発生させる収差の範囲を小さくすることができる。したがって、j の数を大きくすることにより、第 2 の透明電極層の第 2 の透明電極の輪帯数を少なくすることができる。

[0020] また、前記液晶素子は、レーザ光源からの光束を光記録媒体に集光する光ピックアップ光学系の所定位置に固定して配置されており、前記液晶素子が前記液晶素子を透過する光束に与える位相差は、デフォーカス成分を含むことが好ましい。

通常、液晶素子を光ピックアップ光学系の所定位置に固定して配置すると、アクチュエータによって対物レンズが動作することにより、液晶素子と対物レンズとの間に軸ズレが生じる。また、光記録媒体の各記録層の基板厚みの違いに基づく球面収差を補正するために、液晶素子により、液晶素子を透過する光束に、光線高さの 4 乗に比例する球面収差を発生させる。このとき、軸ズレなどが発生すると、光線高さの 3 乗に比例する大きなコマ収差が発生する。このとき、液晶素子により、液晶素子を透過する光束に、光線高さの 2 乗に比例するデフォーカス成分を含む位相差を付与すると、当該光束に発生する収差としては、光線高さの 1 乗に比例するチルト成分のみが残る。当該チルト成分は、光束のスポット形状に影響を与えない。そのため、液晶素子が当該液晶素子を透過する光束に与える位相差に、デフォーカス成分を含むことにより、軸ズレなどに起因するコマ収差を低減することができる。

[0021] また、液晶素子を光ピックアップ光学系の所定位置に固定して配置することにより、液晶素子に対物レンズとともにアクチュエータに搭載する場合に比べて、アクチュエータの重量を低減することができる。これにより、アクチュエータの周波数応答性を劣化させずに済む。そのため、高速な信号再生を実現することができる。

[0022] さらに、また、前記第 1 の透明電極層は、異なる電圧が印加される複数本の前記第 1 の透明電極を有し、前記第 1 の透明電極は、同じ電圧が印加され

る複数の輪帯状の透明電極を備え、前記輪帯状の透明電極は、一部が欠失されてなる端部を有し、前記内側の輪帯状の透明電極の端部と、前記内側の輪帯状の透明電極と同じ電圧を印加する外側の輪帯状の透明電極の端部と、が略半径方向に沿って引き出し電極により順次接続され、複数本の前記第 1 の透明電極の前記引き出し電極が互いに重なり合わないよう配置されていることが好ましい。

これにより、同じ電圧を印加する複数の輪帯状の電極を 1 本の第 1 の透明電極とすることができる。そして、引き出し電極の本数を第 1 の透明電極に印加する電圧数とすることができる。よって、引き出し電極の領域を最小限に抑えることができ、液晶素子の収差補正性能の低下を防ぐことができる。

[0023] また、前記第 1 の透明電極層に設けられる前記第 1 の透明電極の輪帯数よりも、前記第 2 の透明電極層に設けられる前記第 2 の透明電極の輪帯数のほうが少ないことが好ましい。

第 1 の透明電極層では、同じ電圧を印加する複数の輪帯状の電極を 1 本の第 1 の透明電極とすることができるが、第 2 の透明電極層では、同じ電圧を印加する輪帯状の電極の数は少ないため、引き出し電極の本数を低減することが難しい。よって、第 1 の透明電極層の第 1 の透明電極の輪帯数を第 2 の透明電極層に設けられる第 2 の透明電極の輪帯数よりも増やすことにより、第 2 の透明電極層に設けられる引き出し電極の本数を低減することができる。これにより、光利用効率の向上を図りながら、残留収差を低減することができる。

[0024] また、レーザ光源からの光束を光記録媒体に集光する光ピックアップ光学系に、上述の液晶素子を用いることが好ましい。

これにより、光ピックアップ光学系において発生する大きな収差を略連続的に補正することができる。

[0025] さらに、前記レーザ光源からの光束を前記光記録媒体に集光する対物レンズを備え、前記対物レンズは、プラスチックレンズであることが好ましい。

プラスチックレンズは、ガラスレンズに比べて、温度変化による屈折率変化が大きい。そのため、球面収差の変化が大きい。また、温度変化によって増大する球面収差を補正するため、対物レンズに輪帯構造を設けた場合、波長変化に基づく球面収差が増大しやすくなってしまう。そのため、プラスチック製の対物レンズを用いる場合、大きな球面収差を補正する必要がある。本発明では、液晶素子により、大きな球面収差を略連続的に補正できるので、プラスチック製の対物レンズを用いた光ピックアップ光学系における大きな球面収差を補正することができる。そして、対物レンズをプラスチック製とすることにより、軽量化することができ、アクチュエータの応答性の高速化を図ることができる。また、対物レンズをプラスチック製とすることにより、対物レンズの低コスト化を実現することができる。

発明の効果

[0026] 本発明により、大きな収差を略連続的に補正可能な液晶素子及び光ピックアップ光学系を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0027] [図1]実施例1にかかる光ピックアップ光学系の一例を模式的に示す側面図である。

[図2]実施例1にかかる液晶素子の一例を模式的に示す断面図である。

[図3]実施例1にかかる液晶素子の第1の透明電極層及び第4の透明電極層における透明電極の配置を示す平面図である。

[図4]実施例1にかかる対物レンズの非球面係数、コーニック係数、曲率を示す表である。

[図5]実施例1にかかる光ピックアップ光学系の面間距離及び屈折率を示す表である。

[図6]記録層の基板厚みの差によって発生する光線高さ（ r ）の3乗に比例する球面収差を示すグラフである。

[図7]記録層の基板厚みの差によって発生する光線高さ（ r ）の3乗に比例する球面収差を低減するために、従来の液晶素子においてレーザ光に発生させ

る位相差を示すグラフである。

[図8] 録層の基板厚みの差によって発生する光線高さ（ r ）の3乗に比例する球面収差と、0.3mmの軸ズレによって発生する光線高さ（ r ）の3乗に比例するコマ収差とを低減するために、従来の液晶素子においてレーザ光に発生させる位相差を示すグラフである。

[図9] 図8に示す位相差から波長の整数倍の位相差を差し引いて得られる位相差を示すグラフである。

[図10A] 従来の液晶素子を模式的に示す断面図である。

[図10B] 従来の液晶素子を模式的に示す断面図である。

[図10C] 従来の液晶素子を模式的に示す断面図である。

[図11] 実施例1にかかる液晶素子によってレーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差を説明する図である。

[図12A] 第1の透明電極層又は第4の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図12B] 第2の透明電極層又は第3の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図12C] 実施例1にかかる液晶素子全体でレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図13A] 第1の透明電極層又は第4の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図13B] 第2の透明電極層又は第3の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図13C] 実施例1にかかる液晶素子全体でレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図14A] 第1の透明電極層又は第4の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図14B] 第2の透明電極層又は第3の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図14C] 実施例 1 にかかる液晶素子全体でレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図15A] 第 1 の透明電極層又は第 4 の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図15B] 第 2 の透明電極層又は第 3 の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図15C] 実施例 1 にかかる液晶素子全体でレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図16A] 第 1 の透明電極層又は第 4 の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図16B] 第 2 の透明電極層又は第 3 の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図16C] 実施例 1 にかかる液晶素子全体でレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図17A] 第 1 の透明電極層又は第 4 の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図17B] 第 2 の透明電極層又は第 3 の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図17C] 実施例 1 にかかる液晶素子全体でレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図18A] 第 1 の透明電極層又は第 4 の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図18B] 第 2 の透明電極層又は第 3 の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図18C] 実施例 1 にかかる液晶素子全体でレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図19A] 第 1 の透明電極層又は第 4 の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図19B]第2の透明電極層又は第3の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図19C]実施例1にかかる液晶素子全体でレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図20A]第1の透明電極層又は第4の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図20B]第2の透明電極層又は第3の透明電極層を駆動することにより、液晶素子を透過するレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図20C]実施例1にかかる液晶素子全体でレーザ光に付与する位相差の一例を示すグラフである。

[図21]図12A、B、C～図20A、B、Cにおける、レーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量A、球面収差量B、トータルの球面収差量（球面収差量A＋球面収差量B）、記録層の基板厚み、コマ収差（COMA3）の値、図番号を対応付けて示す表である。

[図22A]実施例1にかかる液晶素子により、実際に、レーザ光に付与される位相差を示すグラフである。

[図22B]実施例1にかかる液晶素子により、実際に、レーザ光に付与される位相差を示すグラフである。

[図22C]実施例1にかかる液晶素子により、実際に、レーザ光に付与される位相差を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0028] 以下、本発明を適用した具体的な実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、本発明は、以下の実施の形態に限定されるものではない。また、以下、球面収差量として、光記録媒体の各記録層の基板厚みの違いやバラツキによって生じる球面収差を例に挙げて説明するが、本発明によれば、レーザダイオードのバラツキ、対物レンズのバラツキ、温度変化などによって生じる球面収差量を補正することも可能である。

[0029] （実施例1）

まず、本発明の実施例 1 にかかる光ピックアップ光学系 1 について説明する。図 1 は、実施例 1 にかかる光ピックアップ光学系 1 の一例を示したものである。光ピックアップ光学系 1 は、レーザダイオード 11（レーザ光源）、偏光ビームスプリッタ（PBS）12、コリメータレンズ 13、液晶素子 14、液晶コントロール回路 15、1/4 波長板 16、対物レンズ 17、フォトディテクタ（PD）18 等を備えている。

[0030] レーザダイオード 11 から出射された直線偏光のレーザ光（光束）の光路上に偏光ビームスプリッタ 12 が設けられている。また、偏光ビームスプリッタ 12 より出射したレーザ光の光路上に、コリメータレンズ 13 が設けられている。コリメータレンズ 13 は、偏光ビームスプリッタ 12 から出射されたレーザ光を発散光から略平行光に変換する。

[0031] コリメータレンズ 13 から出射されたレーザ光の光路上に液晶素子が設けられている。

液晶素子 14 の側面図を図 2 に示す。図 2 に示すように、液晶素子 14 は、第 1 の透明基板 141（第 1 の透明基板）、第 2 の透明基板 142（第 2 の透明基板）、第 3 の透明基板 143（第 1 の透明基板）、第 1 の液晶層 144（屈折率異方性媒質層）、第 2 の液晶層 145（屈折率異方性媒質層）、第 1 の透明電極層 146（第 1 の透明電極層）、第 2 の透明電極層 147（第 2 の透明電極層）、第 3 の透明電極層 148（第 2 の透明電極層）、第 4 の透明電極層 149（第 1 の透明電極層）などを有している。

[0032] 液晶素子 14 は、直線偏光のレーザ光の収差を補正する。液晶素子 14 の第 1 の透明電極層 146、第 2 の透明電極層 147、第 3 の透明電極層 148 及び第 4 の透明電極層 149 は液晶コントロール回路 15 に接続されている。そして、液晶コントロール回路 15 によって、第 1 の透明電極層 146、第 2 の透明電極層 147、第 3 の透明電極層 148 及び第 4 の透明電極層 149 が駆動されることにより、液晶素子 14 は、透過するレーザ光に位相差を発生させ、収差を補正する。

具体的には、液晶素子 14 は、コリメータレンズ 13 から出射されたレー

ザ光に位相差を発生させて、収差補正を行う。一方、液晶素子 14 は、光ディスク 19（光記録媒体）により反射され、対物レンズ 17 により集光されたレーザ光に位相差を発生させて、収差補正を行う。

[0033] また、第 1 の液晶層 144 と及び第 2 の液晶層 145 は、液晶分子の配向方向が互いに直交するように設けられている。そのため、第 1 の液晶層 144 がレーザダイオード 11 から対物レンズ 17 に向かうレーザ光の収差を補正する場合、第 2 の液晶層 145 が光ディスク 19 からフォトディテクタ 18 に向かうレーザ光の収差を補正する。

[0034] 液晶素子 14 から出射されたレーザ光の光路上に 1/4 波長板 16 が設けられている。

そして、液晶素子 14 から出射されたレーザ光は、1/4 波長板 16 を透過することにより、円偏光に変換される。

[0035] 対物レンズ 17 は、1/4 波長板 16 を透過したレーザ光の光路上に設けられている。

対物レンズ 17 は、入射されたレーザ光を光ディスク 19（光記録媒体）の情報記録面に集光させる機能を有する。対物レンズ 17 は、さらに、光ディスク 19 の情報記録面で反射されたレーザ光をフォトディテクタ 18 に導く機能も有する。

フォーカスサーボ時、及びトラッキングサーボ時には、対物レンズ 17 が図示されないアクチュエータにより動作する。

実施例 1 にかかる対物レンズ 17 は、基板厚み 0.0875mm の記録層に良好にレーザ光を収束する。

[0036] 次に、レーザダイオード 11 から出射されたレーザ光が光ディスク 19 の情報記録面で反射されフォトディテクタ 18 に検出されるまでの挙動について説明する。レーザダイオード 11 から出射されたレーザ光は偏光ビームスプリッタ 12 を透過してコリメータレンズ 13 に入射する。

コリメータレンズ 13 は、レーザダイオード 11 から出射されたレーザ光を発散光から略平行光に変換する。

コリメータレンズ 13 を透過したレーザ光は、液晶素子 14 に入射される。ここで、実施例 1 においては、液晶素子 14 によって、液晶素子 14 を透過するレーザ光に、収差を低減するような位相差を付与する。

次いで、液晶素子 14 を透過したレーザ光は、1/4 波長板 16 を透過した後、対物レンズ 17 に入射される。そして、対物レンズ 17 は、レーザ光を光ディスク 19 の情報記録面に集光させる。

[0037] 光ディスク 19 の情報記録面で反射されたレーザ光は、対物レンズ 17 を介してフォトディテクタ 18 に入射し、検出される。フォトディテクタ 18 は、当該レーザ光を検出し、光電変換して出力信号を出力する。そして、フォトディテクタ 18 の出力信号に基づいて、フォーカスエラー信号、トラックエラー信号、再生信号などを生成する。また、当該フォーカスエラー信号、トラックエラー信号、再生信号などを用いて光ディスク 19 の記録及び／又は再生を行う。

[0038] 次に、実施例 1 にかかる液晶素子 14 について詳細に説明する。

第 1 の透明電極層 146 は、第 1 の透明基板 141 の第 1 の液晶層 144 側の面に形成されている。第 1 の透明電極層 146 は、略輪帯状に形成された大きさの異なる複数の透明電極（第 1 の透明電極）を有している。そして、複数の透明電極は、第 1 の透明基板 141 上に、液晶素子 14 の光軸を中心として同心円状に配設されている。

第 2 の透明電極層 147 は、第 2 の透明基板 142 の第 1 の液晶層 144 側の面に形成されている。第 2 の透明電極層 147 は、略輪帯状に形成された大きさの異なる複数の透明電極（第 2 の透明電極）を有している。そして、複数の透明電極は、第 2 の透明基板 142 上に、液晶素子 14 の光軸を中心として同心円状に配設されている。

第 3 の透明電極層 148 は、第 2 の透明基板 142 の第 2 の液晶層 145 側の面に形成されている。第 3 の透明電極層 148 は、略輪帯状に形成された大きさの異なる複数の透明電極（第 2 の透明電極）を有している。そして、複数の透明電極は、第 2 の透明基板 142 上に、液晶素子 14 の光軸を中

心として同心円状に配設されている。

第4の透明電極層149は、第3の透明基板143の第2の液晶層145側の面に形成されている。第4の透明電極層149は、略輪帯状に形成された大きさの異なる複数の透明電極（第1の透明電極）を有している。そして、複数の透明電極は、第3の透明基板143上に、液晶素子14の光軸を中心として同心円状に配設されている。

[0039] また、第1の透明電極層146において、略同じ値の電圧を印加する透明電極が第1の透明基板141の径方向に略周期的に配設されている。そして、第1の透明電極層146は、第1の液晶層144が、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-h\lambda$ 以上、 $+h\lambda$ 以下の範囲内（ h は、 $h \geq 1$ を満たす整数、 λ は設計波長）で、レーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与するように、第1の液晶層144に電圧を印加する。換言すれば、第1の透明電極層146によって駆動されることにより、第1の液晶層144は、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-h\lambda$ 以上、 $+h\lambda$ 以下の範囲内で、レーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与する。

また、第1の透明電極層146は、第1の液晶層144が、第1の透明電極層146において隣り合う透明電極を透過するレーザ光間に $h\lambda$ の位相差を付与する部分を有するように、第1の液晶層144に電圧を印加する。

これにより、液晶素子14が当該液晶素子14を透過するレーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量の範囲が $-S$ 以上、 $+S$ 以下である場合、第1の液晶層144は、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-(i/j)S$ （ j が奇数の場合、 i は、 $i \leq j$ を満たす偶数、 j が偶数の場合、 i は、 $i \leq j$ を満たす奇数）、 0 、 $+(i/j)S$ の球面収差量を補正する収差を発生させる。換言すれば、第1の透明電極層146は、第1の液晶層144が、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-(i/j)S$ 、 0 、 $+(i/j)S$ の球面収差量を補正する収差を発生させるように、第1の液晶層144に電圧を印加する。

即ち、第1の液晶層144は、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-h$

λ 以上、 $+h\lambda$ 以下の範囲内で、レーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与するとともに、第1の透明電極層146の隣り合う透明電極を透過するレーザ光間に $h\lambda$ の位相差を付与する部分を有することにより、当該レーザ光に、 $-(i/j)S$ 、 0 、 $+(i/j)S$ の球面収差量を補正する収差を発生させる。

[0040] また、第2の透明電極層147は、第1の液晶層144が、液晶素子14を透過するレーザ光に、レーザ光の径方向に沿って略連続的に変化する位相差を付与するように、第1の液晶層144に電圧を印加する。これにより、液晶素子14が当該液晶素子14を透過するレーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量の範囲が $-S$ 以上、 $+S$ 以下である場合、第1の液晶層144は、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-(1/j)S$ 以上、 $+(1/j)S$ 以下の範囲内で略連続的な値の球面収差量を補正する収差を発生させる。即ち、第1の液晶層144は、液晶素子14を透過するレーザ光に、レーザ光の径方向に沿って略連続的に変化する位相差を付与することにより、当該レーザ光に、 $-(1/j)S$ 以上、 $+(1/j)S$ 以下の範囲内で略連続的な値の球面収差量を補正する収差を発生させる。

[0041] また、第3の透明電極層148は、第2の液晶層145が、液晶素子14を透過するレーザ光に、レーザ光の径方向に沿って略連続的に変化する位相差を付与するように、第2の液晶層145に電圧を印加する。これにより、液晶素子14が当該液晶素子14を透過するレーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量の範囲が $-S$ 以上、 $+S$ 以下である場合、第2の液晶層145は、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-(1/j)S$ 以上、 $+(1/j)S$ 以下の範囲内で略連続的な値の球面収差量を補正する収差を発生させる。即ち、第2の液晶層145は、液晶素子14を透過するレーザ光に、レーザ光の径方向に沿って略連続的に変化する位相差を付与することにより、当該レーザ光に、 $-(1/j)S$ 以上、 $+(1/j)S$ 以下の範囲内で略連続的な値の球面収差量を補正する収差を発生させる。

[0042] また、第4の透明電極層149において、略同じ値の電圧を印加する透明

電極が第3の透明基板143の径方向に略周期的に配設されている。そして、第4の透明電極層149は、第2の液晶層145が、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-h\lambda$ 以上、 $+h\lambda$ 以下の範囲内（ h は、 $h \geq 1$ を満たす整数、 λ は設計波長）で、レーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与するように、第2の液晶層145に電圧を印加する。換言すれば、第4の透明電極層149によって駆動されることにより、第2の液晶層145は、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-h\lambda$ 以上、 $+h\lambda$ 以下の範囲内で、レーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与する。

また、第4の透明電極層149は、第2の液晶層145が、第4の透明電極層149において隣り合う透明電極を透過するレーザ光間に $h\lambda$ の位相差を付与する部分を有するように、第2の液晶層145に電圧を印加する。

これにより、液晶素子14が当該液晶素子14を透過するレーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量の範囲が $-S$ 以上、 $+S$ 以下である場合、第2の液晶層145は、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-(i/j)S$ 、 0 、 $+(i/j)S$ の球面収差量を補正する収差を発生させる。換言すれば、第4の透明電極層149は、第2の液晶層145が、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-(i/j)S$ 、 0 、 $+(i/j)S$ の球面収差量を補正する収差を発生させるように、第2の液晶層145に電圧を印加する。

即ち、第2の液晶層145は、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-h\lambda$ 以上、 $+h\lambda$ 以下の範囲内で、レーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与するとともに、第4の透明電極層149の隣り合う透明電極を透過するレーザ光間に $h\lambda$ の位相差を付与する部分を有することにより、当該レーザ光に、 $-(i/j)S$ 、 0 、 $+(i/j)S$ の球面収差量を補正する収差を発生させる。

[0043] 第1の透明電極層146及び第4の透明電極層149において、略同じ値の電圧を印加する透明電極が第1の透明基板141の径方向に略周期的に配設されている。そして、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層14

9によって電圧が印加されることにより、第1の液晶層144又は第2の液晶層145が、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-h\lambda$ 以上、 $+h\lambda$ 以下の範囲内で、レーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与する。これにより、液晶素子14は、液晶素子14を透過するレーザ光に、 -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差を付与することができる。具体的には、位相差が波長の整数倍であることは位相差がないのと同じであるため、 -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差は、当該位相差から波長の整数倍の位相差を差し引いたものと等価である。 -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差から波長の整数倍の位相差を差し引くと、 -1λ 以上、 $+1\lambda$ 以下の範囲内で、レーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差となる。そのため、第1の液晶層144及び第2の液晶層145が、液晶素子14を透過するレーザ光に、 -1λ 以上、 $+1\lambda$ 以下の範囲内（この場合、 $h=1$ ）でレーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与することにより、当該レーザ光に、 -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差を付与することができる。

また、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149によって電圧が印加されることにより、第1の液晶層144又は第2の液晶層145は、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149において隣り合う透明電極を透過するレーザ光間に $h\lambda$ の位相差を付与する部分を有する。そして、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149によって電圧が印加された第1の液晶層144又は第2の液晶層145は、このような位相差をレーザ光に付与することにより、レーザ光に、デフォーカス収差を発生させることができる。ここで、デフォーカス収差とは、位相差のデフォーカス成分に基づく収差である。また、位相差のデフォーカス成分とは、光線高さ（ r ）の2乗に比例する位相差である。そして、当該デフォーカス収差により、球面収差を補正することができる。また、当該デフォーカス収差は、 -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差に基づくものである。そのため、当該デフォーカス収差量は大きな値となる。したがって、第1の透明電極層146

又は第4の透明電極層149によって第1の液晶層144又は第2の液晶層145に電圧を印加することにより、液晶素子14を透過するレーザ光に、 -1λ 以上、 $+1\lambda$ 以下の範囲内の比較的制限された位相差を付与するだけで、 -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差に基づく大きなデフォーカス収差を発生させることができ、大きな球面収差を補正することができる。

[0044] しかし、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149によって第1の液晶層144又は第2の液晶層145に電圧を印加することにより、液晶素子14を透過するレーザ光に発生されるデフォーカス収差は、離散的な値になってしまう。そこで、実施例1においては、第2の透明電極層147又は第3の透明電極層148によって電圧が印加されることにより、第1の液晶層144又は第2の液晶層145が、液晶素子14を透過するレーザ光に、レーザ光の径方向に沿って略連続的に変化する位相差を付与する。これにより、液晶素子14を透過するレーザ光に所定の範囲内で略連続的な値の収差を発生させることができる。そして、第1の透明電極層145又は第4の透明電極層149によって電圧が印加されることにより、第1の液晶層144又は第2の液晶層145が、液晶素子14を透過するレーザ光に付与する離散的なデフォーカス収差と、当該略連続的な値のデフォーカス収差とが合わさる。したがって、第1の透明電極層146及び第2の透明電極層147又は第4の透明電極層149及び第3の透明電極層148によって電圧が印加されることにより、第1の液晶層144又は第2の液晶層145が、液晶素子14を透過するレーザ光に -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差に基づく大きなデフォーカス収差であって略連続的なデフォーカス収差を付与することができる。これにより、当該液晶素子14は、大きな収差を略連続的に補正することができる。

[0045] さらに、具体的には、実施例1では、液晶素子14でレーザ光に付与すべき位相差から波長の整数倍の位相差を差し引いて、液晶素子14において、実際に、液晶素子14を透過するレーザ光に付与する位相差の範囲を -1λ 以上、 $+1\lambda$ 以下とする。これにより、液晶素子14によって、当該液晶素

子 1 4 を透過するレーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量の範囲が低減される。次いで、当該低減された球面収差量の範囲が、 $-S$ 以上、 $+S$ 以下である場合、当該球面収差量の範囲を任意の数 $2j$ で等分する。そして、第 1 の透明電極層 1 4 6 又は第 4 の透明電極層 1 4 9 は、第 1 の液晶層 1 4 4 又は第 4 の液晶層 1 4 5 が、液晶素子 1 4 を透過するレーザ光に、等分して得られる離散的な値の球面収差量 ($-(i/j)S$ 、 0 、 $+(i/j)S$) を補正するデフォーカス収差を発生させるように、第 1 の液晶層 1 4 4 又は第 2 の液晶層 1 4 5 に電圧を印加する。

また、第 2 の透明電極層 1 4 7 又は第 3 の透明電極層 1 4 8 は、第 1 の液晶層 1 4 4 又は第 2 の液晶層 1 4 5 が、液晶素子 1 4 を透過するレーザ光に、 $-(1/j)S$ 以上、 $+(1/j)S$ 以下の範囲内で略連続的な値の球面収差量を補正するデフォーカス収差を発生させるように、第 1 の液晶層 1 4 4 又は第 2 の液晶層 1 4 5 に電圧を印加する。

[0046] これにより、第 1 の透明電極層 1 4 6 及び第 4 の透明電極層 1 4 9 を駆動することにより、第 1 の液晶層 1 4 4 及び第 2 の液晶層 1 4 5 は、低減された球面収差量の範囲を任意の数 $2j$ で等分して得られる離散的な値の球面収差量 ($-(i/j)S$ 、 0 、 $+(i/j)S$) を補正するデフォーカス収差を、液晶素子 1 4 を透過するレーザ光に発生させる。一方、第 2 の透明電極層 1 4 7 及び第 3 の透明電極層 1 4 8 を駆動することにより、第 1 の液晶層 1 4 4 及び第 2 の液晶層 1 4 5 が、 $-(1/j)S$ 以上、 $+(1/j)S$ 以下の範囲内で略連続的な値の球面収差量を補正するデフォーカス収差を当該レーザ光に発生させる。そのため、離散的な球面収差量 ($-(i/j)S$ 、 0 、 $+(i/j)S$) を補正するデフォーカス収差と、 $-(1/j)S$ 以上、 $+(1/j)S$ 以下の範囲内で略連続的な値の球面収差量を補正するデフォーカス収差とが合わさって、液晶素子 1 4 を透過するレーザ光に発生する。これにより、当該レーザ光に、 $-S$ 以上、 $+S$ 以下の球面収差量を略連続的に補正するデフォーカス収差を発生させることができる。そして、液晶素子 1 4 により、比較的小さいデフォーカス収差量をレーザ光に発生させるこ

とにより、大きな球面収差を補正することができる。

また、 j の数を大きくする程、第 2 の透明電極層 147 及び第 3 の透明電極層 148 を駆動することにより、当該レーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量の範囲を小さくすることができる。したがって、 j の数を大きくすることにより、第 2 の透明電極層 147 及び第 3 の透明電極層 148 の透明電極の輪帯数を少なくすることができる。

[0047] また、図 3 に、第 1 の透明電極層 146 及び第 4 の透明電極層 149 における透明電極の配置を示す。

第 1 の透明電極層 146 は、第 1 の液晶層 144 が、液晶素子 14 を透過するレーザ光に、 $-h\lambda$ 以上、 $+h\lambda$ 以下の範囲内で、レーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与するように、第 1 の液晶層 144 に電圧を印加する。同様に、第 4 の透明電極層 149 は、第 2 の液晶層 145 が、液晶素子 14 を透過するレーザ光に、 $-h\lambda$ 以上、 $+h\lambda$ 以下の範囲内で、レーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与するように、第 2 の液晶層 145 に電圧を印加する。したがって、第 1 の透明電極層 146 及び第 4 の透明電極層 149 において、同じ電圧を印加する輪帯状の透明電極が複数存在する。

[0048] そこで、第 1 の透明電極層 146 及び第 4 の透明電極層 149 では、同じ電圧を印加する輪帯状の透明電極をつないで、トグロ状の 1 本の透明電極としている。具体的には、第 1 の透明電極層 146 及び第 4 の透明電極層 149 は、異なる電圧が印加される複数本の透明電極を有している。そして、当該透明電極は、同じ電圧が印加される複数の輪帯状の透明電極から形成されている。また、当該輪帯状の透明電極は、一部が欠失されてなる端部を有している。そして、内側の輪帯状の透明電極の端部と、当該内側の輪帯状の透明電極と同じ電圧を印加する外側の輪帯状の透明電極の端部と、が略半径方向に沿って引き出し電極により順次接続されている。また、異なる電圧が印加される複数本の透明電極の引き出し電極が互いに重なり合わないよう配置されている。

[0049] これにより、同じ電圧を印加する複数の輪帯状の電極を１本の透明電極とすることができる。そして、引き出し電極の本数を、第１の透明電極層１４６及び第４の透明電極層１４９において透明電極に印加する電圧数とすることができる。よって、引き出し電極の領域を最小限に抑えることができ、液晶素子の収差補正性能の低下を防ぐことができる。

[0050] 次に、実施例１にかかる対物レンズ１７について詳細に説明する。対物レンズ１７の面形状を規定する非球面係数、曲率 c を図４の表に示す。

対物レンズ１７の面形状は、以下の数式（１）によって規定される。

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \alpha_1 r^2 + \alpha_2 r^4 + \alpha_3 r^6 + \alpha_4 r^8 + \cdots + \alpha_8 r^{16} \quad \dots\dots\dots (1)$$

数式（１）において、 r は、光軸からの光線の高さ、 z は、高さ r における非球面を光軸まで仮想的に延長したときの光軸との交点と接平面からの距離（サグ量）、 c は、非球面の光軸上での曲率、 k は、コーニック係数、 α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 、 $\cdots$ 、 α_8 は、それぞれ、２次、４次、６次、８次、 $\cdots$ 、１６次の非球面係数である。なお、 $c = 1/R$ 、（ R は曲率半径）である。

そして、数式（１）と図４に示す係数の値とにより、実施例１にかかる対物レンズ１７の入射面（ $R1$ ）と出射面（ $R2$ ）の面形状が規定される。

[0051] 図５の表に、コリメータレンズ１３から光ディスク１９までの光路における面間距離を示す。図５において、物体面とは、コリメータレンズ１３から出射された略平行光のレーザダイオード１１側における集光点の面である。コリメータレンズ１３は、略平行光を出射するため、物体面と液晶素子１４との面間距離は ∞ で表されている。また、絞り面とは、対物レンズ１７の入射面側に配置された絞り（図示省略）の面である。

[0052] また、図５において、状態Ａとは、対物レンズ１７が基板厚み 0.0875 mm の記録層にレーザ光を集光する状態である。また、状態Ｂとは、対物

レンズ 17 が基板厚み 0.1 mm の記録層にレーザ光を集光する状態である。実施例 1 にかかる対物レンズ 17 は、基板厚み 0.0875 mm の記録層に良好にレーザ光を集光する。そのため、状態 B においては、図 6 に示すような球面収差が発生する。換言すれば、各記録層の基板厚みの差によって、光線高さ (r) の 3 乗に比例する球面収差が発生する。状態 B において発生する 3 次の球面収差 (SA3) は、 $-188 \text{ m}\lambda \text{ rms}$ である。この収差を補正するため、従来では、液晶素子によって、液晶素子を透過するレーザ光に、図 7 に示すような位相差を付与する。これにより、状態 B で発生する 3 次の球面収差 (SA3) は、ほぼ $0 \text{ m}\lambda \text{ rms}$ になる。したがって、各記録層の基板厚みの差に基づく球面収差を低減することができる。換言すれば、液晶素子によって、レーザ光に光線高さ (r) の 4 乗に比例する位相差を付与することにより、光線高さ (r) の 3 乗に比例する球面収差を低減することができる。

しかし、液晶素子を光ピックアップ光学系の所定位置に固定して配置すると、アクチュエータによって対物レンズが動作することにより、液晶素子と対物レンズとの間に軸ズレが生じる。この場合に、液晶素子により、各記録層の基板厚みの違いに基づく球面収差を低減するため、光線高さ (r) の 4 乗に比例する位相差を付与すると、光線高さ (r) の 3 乗に比例する大きなコマ収差が発生する。ここで、液晶素子と対物レンズとの間に軸ズレが生じ、光線高さ (r) の 3 乗に比例するコマ収差が発生する状態を状態 C とする。

[0053] 例えば、0.3 mm の軸ズレが生じると、 $-483 \text{ m}\lambda \text{ rms}$ の 3 次コマ収差 (COMA3) が発生する。この 3 次コマ収差 (COMA3) を低減するためには、液晶素子によって、液晶素子を透過するレーザ光に、図 8 に示すような位相差を付与する必要がある。換言すれば、3 次コマ収差 (COMA3) を低減するためには、光線高さ (r) の 2 乗に比例する位相差 (デフォーカス成分) をレーザ光に発生させる必要がある。3 次のコマ収差 (COMA3) は、光線高さ (r) の 3 乗に比例するため、液晶素子により光線高

さ（ r ）の2乗に比例する位相差（デフォーカス成分）をレーザ光に発生させると、光線高さ（ r ）の1乗に比例するチルト成分のみが残る。当該チルト成分は、レーザ光のスポット形状に影響を与えない。実際に、0.3mmの軸ズレによって発生するコマ収差は、液晶素子によってレーザ光に図8に示す位相差を付与すると、 $0\text{ m}\lambda\text{ rms}$ となる。

しかし、図8に示す位相差は、約 -1.3λ と大きい。液晶素子によってレーザ光に発生させる位相差の大きさは、液晶層の厚みに比例する。一方、液晶素子の応答速度は、液晶層の厚みの2乗に反比例する。そのため、図8に示す位相差をレーザ光に発生させるために、液晶層の厚みを厚くすると、液晶素子の応答速度が極端に劣化し、実使用上問題となってしまう。

[0054] 位相差が波長の整数倍であることは位相差がないのと同じであるため、 -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差は、当該位相差から波長の整数倍の位相差を差し引いたものと等価である。そこで、図8に示す位相差から波長の整数倍の位相差を差し引いて、液晶素子において発生させる位相差を低減することができる。具体的には、図8に示す位相差から波長の整数倍の位相差を差し引いて、図9に示す位相差とすることができる。図9に示すように、図8に示す位相差から波長の整数倍の位相差を差し引くと、 -1λ 以上、 $+1\lambda$ 以下の範囲内で、レーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差となる。

ここで、図9に示す位相差を付与する場合、液晶素子によって、 -1λ 、 0λ 、 $+1\lambda$ の3つの値の位相差をレーザ光の径方向に沿って略周期的に付与することになる。そして、レーザ光に、 -1λ 、 0λ 、 $+1\lambda$ の位相差をレーザ光の径方向に沿って略周期的に付与することにより、レーザ光に、 $-1.88\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 、 $0\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 、 $+1.88\text{ m}\lambda\text{ rms}$ の球面収差を補正する収差を発生させる。したがって、 $-1.88\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 、 $0\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 、 $+1.88\text{ m}\lambda\text{ rms}$ の3つの収差量のみを良好に低減することになる。そのため、例えば、 $-1.88\text{ m}\lambda\text{ rms}$ と $0\text{ m}\lambda\text{ rms}$ の間の値の収差量を良好に低減することができない。換言すれば、 $-1.88\text{ m}\lambda\text{ rms}$ と $0\text{ m}\lambda\text{ rms}$

との間、及び $0\text{ m}\lambda_{\text{rms}}$ と $+188\text{ m}\lambda_{\text{rms}}$ との間の収差量を連続的に低減することができない。そのため、様々なバラツキに起因する収差を良好に補正することができない。

[0055] 図10A～Cに、従来の液晶素子の断面図を示す。図10Aに示す液晶素子は、透明基板上に同心円状に配置された複数の輪帯状の透明電極を有し、個々の透明電極に異なる電圧を与える。これにより、液晶素子を複数の輪帯状の領域に分け、異なる領域を透過した光線間に位相差を付与する。具体的には、図10Aでは、紙面向かって右側の透明電極のみに電圧を印加している。そのため、左側の領域の屈折率は、電圧が印加されていないときの屈折率 n_0 となっており、右側の領域の屈折率は、電圧印加によって液晶分子の配向が変化したため、屈折率 n_e となっている。そして、当該各領域の屈折率の違いによって、左側の領域を透過する光線Aと右側の領域を透過する光線Bとの間に位相差を発生させている。また、左側の透明電極に電圧を印加し、右側の透明電極に電圧を印加しないことにより、各領域を透過する光線間に発生する位相差を反転させることができる。

[0056] 図10Aにおいて、レーザ光に付与する位相差が各透明電極の輪帯毎に 0.1λ ずつ異なるように、各透明電極に電圧を印加する場合、 $13/0.1 = 130$ 本の輪帯状の透明電極が必要となる。130本の透明電極に個々に電圧を印加することにより、図9に示す位相差を略連続的にレーザ光に発生させることができる。しかし、130本の透明電極に電圧を個々に印加すると、電圧をコントロールするための回路が大規模になってしまう。これにより、高コスト化、光ピックアップ光学系の大型化を招来する。さらに、130本の透明電極に個々に電圧を印加するためには、130本の輪帯状の透明電極のそれぞれに引き出し電極を設ける必要がある。引き出し電極の電極幅を $5\mu\text{m}$ 、隣り合う引き出し電極間の幅を $1\mu\text{m}$ とした場合、全ての引き出し電極が占める幅は、 $6 \times 130 = 780\mu\text{m}$ となる。したがって、対物レンズ17の有効半径が $1200\mu\text{m}$ である場合、液晶素子の有効領域のうちかなりの部分が引き出し電極によって占められることになる。引き出し電極

が占める領域では、不要な収差が発生する。そのため、引き出し電極が占める領域が大きいと、大きな収差劣化が生じてしまう。引き出し電極の電極幅を小さくすることも可能であるが、歩留まりの低下や、印加電圧の電圧降下が問題となってしまう。

[0057] 図10Bに示す液晶素子では、液晶層を挟む2枚の透明基板のうち、一方の透明基板の液晶層側の面に段差が設けられている。図10Bでは、紙面向かって左側の領域の段差の方が、右側の領域の段差より高くなっている。そして、当該段差の高さの違いによって、左側の領域を透過する光線Aと右側の領域を透過する光線Bとの間に位相差を発生させている。透明基板を形成する樹脂の屈折率を n_1 とし、電圧が印加されていない液晶層の屈折率を n_0 とし、電圧が印加された液晶層の屈折率を n_e とした場合に、 $n_1 = (n_0 + n_e) / 2$ を満たすように、電圧を印加させることにより、 -1λ 、 0λ 、 $+1\lambda$ の3つの値の位相差をレーザ光に発生させることが可能となる。これにより、 $-188m\lambda_{rms}$ 、 $0m\lambda_{rms}$ 、 $+188m\lambda_{rms}$ の3つの収差量を良好に低減することができる。そして、同じ高さの段差を液晶素子の径方向に沿って略周期的に設けることにより、レーザ光に、 -1λ 以下、 $+1\lambda$ 以上の大きな位相差を付与することができる。そのため、当該液晶素子により、大きな収差を補正することが可能となる。しかし、図10Bに示す液晶素子は、 $-188m\lambda_{rms}$ 、 $0m\lambda_{rms}$ 、 $+188m\lambda_{rms}$ の3つの収差量のみを良好に低減することになる。そのため、様々なバラツキに起因する収差を良好に補正することができない。

[0058] 図10Cに示す液晶素子では、液晶層を挟む2枚の透明基板のうち、一方の透明基板の厚みが徐々に変化している。図10Cでは、紙面向かって右側から左側に向かうにつれて、上側の透明基板の厚みが徐々に薄くなっている。そして、当該透明基板の厚みの違いによって、左側の領域を透過する光線Aと右側の領域を透過する光線Bとの間に位相差を発生させている。しかし、図10Bと同様に、 $-188m\lambda_{rms}$ 、 $0m\lambda_{rms}$ 、 $+188m\lambda_{rms}$ の3つの収差量のみを良好に低減することになる。そのため、様々なバ

ラツキに起因する収差を良好に補正することができない。

[0059] これに対し、実施例 1 では、液晶素子 1 4 でレーザ光に付与すべき位相差から波長の整数倍の位相差を差し引いて、液晶素子 1 4 において、実際に、液晶素子 1 4 を透過するレーザ光に付与する位相差の範囲を -1λ 以上、 $+1\lambda$ 以下とする。これにより、液晶素子 1 4 によって、当該液晶素子 1 4 を透過するレーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量の範囲が低減される。次いで、当該低減された球面収差量の範囲が、 $-S$ 以上、 $+S$ 以下である場合、当該球面収差量の範囲を任意の数 $2j$ で等分する。そして、第 1 の透明電極層 1 4 6 又は第 4 の透明電極層 1 4 9 は、第 1 の液晶層 1 4 4 又は第 4 の液晶層 1 4 5 が、液晶素子 1 4 を透過するレーザ光に、等分して得られる離散的な値の球面収差量 ($-(i/j)S$ 、 0 、 $+(i/j)S$) を補正する収差を発生させるように、第 1 の液晶層 1 4 4 又は第 2 の液晶層 1 4 5 に電圧を印加する。

また、第 2 の透明電極層 1 4 7 又は第 3 の透明電極層 1 4 8 は、第 1 の液晶層 1 4 4 又は第 2 の液晶層 1 4 5 が、液晶素子 1 4 を透過するレーザ光に、 $-(1/j)S$ 以上、 $+(1/j)S$ 以下の範囲内で略連続的な値の球面収差量を補正する収差を発生させるように、第 1 の液晶層 1 4 4 又は第 2 の液晶層 1 4 5 に電圧を印加する。

[0060] これにより、液晶素子 1 4 を透過するレーザ光に、離散的な球面収差量 ($-(i/j)S$ 、 0 、 $+(i/j)S$) を補正する収差と、 $-(1/j)S$ 以上、 $+(1/j)S$ 以下の範囲内で略連続的に発生する球面収差量を補正収差とが合わさって発生する。したがって、当該レーザ光に、 $-S$ 以上、 $+S$ 以下の球面収差量を略連続的に補正する収差を発生させることができる。そして、液晶素子 1 4 により、比較的小さいデフォーカス収差をレーザ光に発生させることにより、大きな球面収差を補正することができる。

[0061] 図 1 1 を参照しながら、実施例 1 にかかる液晶素子 1 4 がレーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量について説明する。図 1 1 は、実施例 1 にかかる液晶素子 1 4 でレーザ光に収差を発生させることにより補

正する球面収差量の範囲（以下、球面収差量範囲Tと称する。）と、第1の透明電極層146及び第4の透明電極層149を駆動することによりレーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量（以下、球面収差量Aと称する。）と、第2の透明電極層147及び第3の透明電極層148を駆動することによりレーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量（以下、球面収差量Bと称する）との関係を示す。

[0062] 図11において、球面収差量範囲Tは、 $-188\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 以上 $+188\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 以下である。この球面収差量範囲Tは、液晶素子14でレーザ光に発生すべき位相差から波長の整数倍の位相差を差し引くことにより、低減されている。まず、実施例1では、当該球面収差量範囲Tを6（この場合、 $2j=6$ より、 $j=3$ ）等分する。このとき、 $-188 \times 2/3 \div -125$ 、 $188 \times 2/3 \div 125$ であるから、球面収差量Aは、 $-125\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 、 $0\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 、 $+125\text{ m}\lambda\text{ rms}$ である。また、 $-188 \times 1/3 \div -63$ 、 $188 \times 1/3 \div 63$ であるから、球面収差量Bは、 $-63\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 以上、 $+63\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 以下の範囲で略連続的な値の球面収差量となる。

[0063] そのため、第1の透明電極層146及び第4の透明電極層149は、第1の液晶層144及び第2の液晶層145が、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-125\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 、 $0\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 、 $+125\text{ m}\lambda\text{ rms}$ の球面収差量を補正する収差を発生させるように、電圧を印加する。

また、第2の透明電極層147及び第3の透明電極層148は、第1の液晶層144及び第2の液晶層145が、液晶素子14を透過するレーザ光に、 $-63\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 以上、 $+63\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 以下の範囲で略連続的な値の球面収差量を補正する収差を発生させるように、電圧を印加する。

そして、球面収差量Aを補正する収差と球面収差量Bを補正する収差とが合わさることにより（球面収差量A+球面収差量B）、球面収差量範囲T内の球面収差を略連続的に補正する収差が、レーザ光に発生する。

[0064] 以下、図12A、B、C～図20A、B、Cに、液晶素子14を透過する

レーザ光に球面収差量Aを補正するデフォーカス収差を発生させるために、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149を駆動することにより、液晶素子14を透過するレーザ光に付与する位相差（以下、位相差Aと称する。）を示す。また、図12A、B、C～図20A、B、Cに、液晶素子14を透過するレーザ光に球面収差量Bを補正するデフォーカス収差を発生させるために、第2の透明電極層147又は第3の透明電極層148を駆動することにより、液晶素子14を透過するレーザ光に付与する位相差（以下、位相差Bと称する。）を示す。図12A、B、C～図20A、B、Cにおいて、縦軸が位相差を示し、横軸が光線高さを示す。また、図12A、図13A、・・・、図20Aに、位相差Aを示し、図12B、図13B、・・・、図20Bに、位相差Bを示す。また、図12C、図13C、・・・、図20Cに、液晶素子14全体でレーザ光に付与する位相差、すなわち、位相差Aと位相差Bとを合わせた位相差を示す。

また、図21に示す表に、図12A、B、C～図20A、B、Cにおける、レーザ光にデフォーカス収差を発生させることにより補正する球面収差量A、球面収差量B、トータルの球面収差量（球面収差量A+球面収差量B）、記録層の基板厚み、コマ収差（COMA3）の値、図番号を対応付けて示す。なお、コマ収差（COMA3）は、0.3mmの軸ズレにより発生する3次のコマ収差である。

なお、図12A、B、C～図20A、B、Cにおいては、 $h=1$ の場合を例に挙げて説明する。即ち、図12A、B、C～図20A、B、Cにおいて、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149は、第1の液晶層144又は第2の液晶層145が、液晶素子14を透過するレーザ光に、 -1λ 以上、 $+1\lambda$ 以下の範囲内で、レーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与するように、第1の液晶層144又は第2の液晶層145に電圧を印加する。

[0065] 図12A～Cに、基板厚みが0.106mmの記録層に集光する場合に発生する球面収差と、 $0.3m\lambda_{rms}$ のコマ収差（COMA3）とを低減す

るために、液晶素子 14 において、レーザ光に発生させる位相差量を示す。

図 12 A に示すように、第 1 の透明電極層 146 又は第 4 の透明電極層 149 が駆動されることにより、液晶素子 14 は、レーザ光に、 -1λ 以上、 0λ 以下の範囲内でレーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与する。また、第 1 の液晶層 144 又は第 4 の液晶層 149 は、第 1 の透明電極層 146 又は第 4 の透明電極層 149 から電圧が印加されることにより、第 1 の透明電極層 146 又は第 4 の透明電極層 149 の隣り合う透明電極を透過するレーザ光間に -1λ の位相差を付与する部分を有する。これにより、レーザ光に、 $-125m\lambda_{rms}$ (球面収差量 A) の球面収差を補正する収差を発生させることができる。

また、図 12 B に示すように、第 2 の透明電極層 147 又は第 3 の透明電極層 148 が駆動されることにより、液晶素子 14 は、レーザ光に、当該レーザ光の径方向に沿って約 -4λ から 0λ まで略連続的に変化する位相差を付与する。これにより、レーザ光に、 $-63m\lambda_{rms}$ から $0m\lambda_{rms}$ までの略連続的な球面収差 (球面収差量 B) を補正する収差を発生させることができる。

そして、図 12 C に示すように、第 1 の透明電極層 146 及び第 2 の透明電極層 147 又は第 3 の透明電極層 148 及び第 4 の透明電極層 149 を駆動することにより、液晶素子 14 は、レーザ光に、位相差 A 及び位相差 B を付与する。これにより、液晶素子 14 は、レーザ光に球面収差量 A 及び球面収差量 B を補正する収差を発生させることができる。そして、基板厚みが $0.106mm$ の記録層に集光する場合に発生する球面収差と、 $0.3m\lambda_{rms}$ のコマ収差 (COMA 3) とを低減することができる。

[0066] 図 13 A ~ C に、基板厚みが $0.100mm$ の記録層に集光する場合に発生する球面収差と、 $0.1m\lambda_{rms}$ のコマ収差 (COMA 3) とを低減するために、液晶素子 14 において、レーザ光に発生させる位相差量を示す。

図 13 A に示すように、第 1 の透明電極層 146 又は第 4 の透明電極層 149 が駆動されることにより、液晶素子 14 は、レーザ光に、 -1λ 以上、

0 λ 以下の範囲内でレーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与する。また、第 1 の液晶層 1 4 4 又は第 4 の液晶層 1 4 9 は、第 1 の透明電極層 1 4 6 又は第 4 の透明電極層 1 4 9 から電圧が印加されることにより、第 1 の透明電極層 1 4 6 又は第 4 の透明電極層 1 4 9 の隣り合う透明電極を透過するレーザ光間に -1λ の位相差を付与する部分を有する。これにより、レーザ光に、 $-125\text{m}\lambda\text{rms}$ （球面収差量 A）の球面収差を補正する収差を発生させることができる。

図 1 3 B では、第 2 の透明電極層 1 4 7 又は第 3 の透明電極層 1 4 8 を駆動しない。そのため、位相差 $B=0$ となっている。

そして、図 1 3 C に示すように、位相差 $B=0$ であるため、液晶素子 1 4 全体でレーザ光に付与する位相差は位相差 A だけとなる。第 1 の透明電極層 1 4 6 又は第 4 の透明電極層 1 4 9 を駆動することにより、液晶素子 1 4 は、レーザ光に、位相差 A を付与する。これにより、液晶素子 1 4 は、レーザ光に球面収差量 A を補正する収差を発生させることができる。そして、基板厚みが 0.100mm の記録層に集光する場合に発生する球面収差と、 $0.1\text{m}\lambda\text{rms}$ のコマ収差（COMA 3）とを低減することができる。

[0067] 図 1 4 A ~ C に、基板厚みが 0.094mm の記録層に集光する場合に発生する球面収差と、 $0.9\text{m}\lambda\text{rms}$ のコマ収差（COMA 3）とを低減するために、液晶素子 1 4 において、レーザ光に発生させる位相差量を示す。

図 1 4 A に示すように、第 1 の透明電極層 1 4 6 又は第 4 の透明電極層 1 4 9 が駆動されることにより、液晶素子 1 4 は、レーザ光に、 -1λ 以上、0 λ 以下の範囲内でレーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与する。また、第 1 の液晶層 1 4 4 又は第 4 の液晶層 1 4 9 は、第 1 の透明電極層 1 4 6 又は第 4 の透明電極層 1 4 9 から電圧が印加されることにより、第 1 の透明電極層 1 4 6 又は第 4 の透明電極層 1 4 9 の隣り合う透明電極を透過するレーザ光間に -1λ の位相差を付与する部分を有する。これにより、レーザ光に、 $-125\text{m}\lambda\text{rms}$ （球面収差量 A）の球面収差を補正する収差を発生させることができる。

また、図 1 4 B に示すように、第 2 の透明電極層 1 4 7 又は第 3 の透明電極層 1 4 8 が駆動されることにより、液晶素子 1 4 は、レーザ光に、当該レーザ光の径方向に沿って 0λ から約 4λ まで略連続的に変化する位相差を付与する。これにより、レーザ光に、 $0m\lambda\text{ rms}$ から $+6.3m\lambda\text{ rms}$ までの略連続的な球面収差（球面収差量 B）を補正する収差を発生させることができる。

そして、図 1 4 C に示すように、第 1 の透明電極層 1 4 6 及び第 2 の透明電極層 1 4 7 又は第 3 の透明電極層 1 4 8 及び第 4 の透明電極層 1 4 9 を駆動することにより、液晶素子 1 4 は、レーザ光に、位相差 A 及び位相差 B を付与する。これにより、液晶素子 1 4 は、レーザ光に球面収差量 A 及び球面収差量 B を補正する収差を発生させることができる。そして、基板厚みが 0.094 mm の記録層に集光する場合に発生する球面収差と、 $0.9m\lambda\text{ rms}$ のコマ収差（COMA 3）とを低減することができる。

[0068] 図 1 5 A ～ C に、基板厚みが 0.093 mm の記録層に集光する場合に発生する球面収差と、 $1.6m\lambda\text{ rms}$ のコマ収差（COMA 3）とを低減するために、液晶素子 1 4 において、レーザ光に発生させる位相差量を示す。

図 1 5 A では、第 1 の透明電極層 1 4 6 及び第 4 の透明電極層 1 4 9 を駆動しない。そのため、位相差 $A=0$ となっている。

また、図 1 5 B に示すように、第 2 の透明電極層 1 4 7 又は第 3 の透明電極層 1 4 8 が駆動されることにより、液晶素子 1 4 は、レーザ光に、当該レーザ光の径方向に沿って約 -4λ から 0λ まで略連続的に変化する位相差を付与する。これにより、レーザ光に、 $-6.3m\lambda\text{ rms}$ から $0m\lambda\text{ rms}$ までの略連続的な球面収差（球面収差量 B）を補正する収差を発生させることができる。

そして、図 1 5 C に示すように、位相差 $A=0$ であるため、液晶素子 1 4 全体でレーザ光に付与する位相差は位相差 B だけとなる。第 2 の透明電極層 1 4 7 又は第 3 の透明電極層 1 4 8 を駆動することにより、液晶素子 1 4 は、レーザ光に、位相差 B を付与する。これにより、液晶素子 1 4 は、レーザ

光に球面収差量Bを補正する収差を発生させることができる。そして、基板厚みが0.093mmの記録層に集光する場合に発生する球面収差と、1.6mλrmsのコマ収差(COMA3)とを低減することができる。

[0069] 図16A~Cに、基板厚みが0.088mmの記録層に集光する場合に発生する球面収差と、0.0mλrmsのコマ収差(COMA3)とを低減するために、液晶素子14において、レーザ光に発生させる位相差量を示す。

図16Aでは、第1の透明電極層146及び第4の透明電極層149を駆動しない。そのため、位相差A=0となっている。

また、図16Bでは、第2の透明電極層147及び第3の透明電極層148を駆動しない。そのため、位相差B=0となっている。

そして、図16Cに示すように、位相差A=0、位相差B=0であるため、液晶素子14全体でレーザ光に付与する位相差も0となる。

[0070] 図17A~Cに、基板厚みが0.082mmの記録層に集光する場合に発生する球面収差と、2.5mλrmsのコマ収差(COMA3)とを低減するために、液晶素子14において、レーザ光に発生させる位相差量を示す。

図17Aでは、第1の透明電極層146及び第4の透明電極層149を駆動しない。そのため、位相差A=0となっている。

また、図17Bに示すように、第2の透明電極層147又は第3の透明電極層148が駆動されることにより、液晶素子14は、レーザ光に、当該レーザ光の径方向に沿って0λから約+4λまで略連続的に変化する位相差を付与する。これにより、レーザ光に、0mλrmsから+63mλrmsまでの略連続的な球面収差(球面収差量B)を補正する収差を発生させることができる。

そして、図17Cに示すように、位相差A=0であるため、液晶素子14全体でレーザ光に付与する位相差は位相差Bだけとなる。第2の透明電極層147又は第3の透明電極層148を駆動することにより、液晶素子14は、レーザ光に、位相差Bを付与する。これにより、液晶素子14は、レーザ光に球面収差量Bを補正する収差を発生させることができる。そして、基板

厚みが 0.082 mm の記録層に集光する場合に発生する球面収差と、 $2.5\text{ m}\lambda\text{ rms}$ のコマ収差（COMA3）とを低減することができる。

[0071] 図18A～Cに、基板厚みが 0.081 mm の記録層に集光する場合に発生する球面収差と、 $0.0\text{ m}\lambda\text{ rms}$ のコマ収差（COMA3）とを低減するために、液晶素子14において、レーザ光に発生させる位相差量を示す。

図18Aに示すように、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149が駆動されることにより、液晶素子14は、レーザ光に、 0λ 以上、 $+1\lambda$ 以下の範囲内でレーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与する。また、第1の液晶層144又は第4の液晶層149は、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149から電圧が印加されることにより、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149の隣り合う透明電極を透過するレーザ光間に $+1\lambda$ の位相差を付与する部分を有する。これにより、レーザ光に、 $+125\text{ m}\lambda\text{ rms}$ （球面収差量A）の球面収差を補正する収差を発生させることができる。

また、図18Bに示すように、第2の透明電極層147又は第3の透明電極層148が駆動されることにより、液晶素子14は、レーザ光に、当該レーザ光の径方向に沿って約 -4λ から 0λ まで略連続的に変化する位相差を付与する。これにより、レーザ光に、 $-63\text{ m}\lambda\text{ rms}$ から $0\text{ m}\lambda\text{ rms}$ までの略連続的な球面収差（球面収差量B）を補正する収差を発生させることができる。

そして、図18Cに示すように、第1の透明電極層146及び第2の透明電極層147又は第3の透明電極層148及び第4の透明電極層149を駆動することにより、液晶素子14は、レーザ光に、位相差A及び位相差Bを付与する。これにより、液晶素子14は、レーザ光に球面収差量A及び球面収差量Bを補正する収差を発生させることができる。そして、基板厚みが 0.081 mm の記録層に集光する場合に発生する球面収差と、 $0.0\text{ m}\lambda\text{ rms}$ のコマ収差（COMA3）とを低減することができる。

[0072] 図19A～Cに、基板厚みが 0.076 mm の記録層に集光する場合に発

生する球面収差と、 $3.4\text{ m}\lambda\text{ rms}$ のコマ収差（COMA3）とを低減するために、液晶素子14において、レーザ光に発生させる位相差量を示す。

図19Aに示すように、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149が駆動されることにより、液晶素子14は、レーザ光に、 0λ 以上、 $+1\lambda$ 以下の範囲内でレーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与する。また、第1の液晶層144又は第4の液晶層149は、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149から電圧が印加されることにより、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149の隣り合う透明電極を透過するレーザ光間に $+1\lambda$ の位相差を付与する部分を有する。これにより、レーザ光に、 $+125\text{ m}\lambda\text{ rms}$ （球面収差量A）の球面収差を補正する収差を発生させることができる。そして、基板厚みが 0.076 mm の記録層に集光する場合に発生する球面収差を低減することができる。

図19Bでは、第2の透明電極層147又は第3の透明電極層148を駆動しない。そのため、位相差 $B=0$ となっている。

そして、図19Cに示すように、位相差 $B=0$ であるため、液晶素子14全体でレーザ光に付与する位相差は位相差Aだけとなる。第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149を駆動することにより、液晶素子14は、レーザ光に、位相差Aを付与する。これにより、液晶素子14は、レーザ光に球面収差量Aを補正する収差を発生させることができる。そして、基板厚みが 0.076 mm の記録層に集光する場合に発生する球面収差と、 $3.4\text{ m}\lambda\text{ rms}$ のコマ収差（COMA3）とを低減することができる。

[0073] 図20A～Cに、基板厚みが 0.070 mm の記録層に集光する場合に発生する球面収差と、 $-7.6\text{ m}\lambda\text{ rms}$ のコマ収差（COMA3）とを低減するために、液晶素子14において、レーザ光に発生させる位相差量を示す。

図20Aに示すように、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149が駆動されることにより、液晶素子14は、レーザ光に、 0λ 以上、 $+1\lambda$ 以下の範囲内でレーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を

付与する。また、第1の液晶層144又は第4の液晶層149は、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149から電圧が印加されることにより、第1の透明電極層146又は第4の透明電極層149の隣り合う透明電極を透過するレーザ光間に $+1\lambda$ の位相差を付与する部分を有する。これにより、レーザ光に、 $+125m\lambda_{rms}$ （球面収差量A）の球面収差を補正する収差を発生させることができる。

また、図20Bに示すように、第2の透明電極層147又は第3の透明電極層148が駆動されることにより、液晶素子14は、レーザ光に、当該レーザ光の径方向に沿って 0λ から約 4λ まで略連続的に変化する位相差を付与する。これにより、レーザ光に、 $0m\lambda_{rms}$ から $+63m\lambda_{rms}$ までの略連続的な球面収差（球面収差量B）を補正する収差を発生させることができる。

そして、図20Cに示すように、第1の透明電極層146及び第2の透明電極層147又は第3の透明電極層148及び第4の透明電極層149を駆動することにより、液晶素子14は、レーザ光に、位相差A及び位相差Bを付与する。これにより、液晶素子14は、レーザ光に球面収差量A及び球面収差量Bを補正する収差を発生させることができる。そして、基板厚みが $0.070mm$ の記録層に集光する場合に発生する球面収差と、 $-7.6m\lambda_{rms}$ のコマ収差（COMA3）とを低減することができる。

[0074] 図21の表に示すように、図14A～Cにおいて液晶素子14がレーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量（球面収差量A+球面収差量B）と、図15A～Cにおいて液晶素子14がレーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量（球面収差量A+球面収差量B）とは、同じとなっている。同様に、図17A～Cにおいて液晶素子14がレーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量と図18A～Cにおいて液晶素子14がレーザ光に収差を発生させることにより補正する球面収差量とは同じとなっている。

[0075] また、図12A、B、C～図20A、B、Cに示すように、位相差Bは、

光線高さ（ r ）の2乗に比例するデフォーカス成分となっている。したがって、液晶素子14がレーザ光に付与する位相差は、デフォーカス成分を含んでいる。

通常、液晶素子14を光ピックアップ光学系1の所定位置に固定して配置すると、アクチュエータによって対物レンズ17が動作することにより、液晶素子14と対物レンズ17との間に軸ズレが生じる。また、光ディスク19の各記録層の基板厚みの違いに基づく球面収差を補正するために、液晶素子14により、液晶素子14を透過するレーザ光に、光線高さ（ r ）の4乗に比例する球面収差を発生させる。このとき、軸ズレなどが発生すると、光線高さ（ r ）の3乗に比例する大きなコマ収差が発生する。このとき、液晶素子14により、液晶素子14を透過するレーザ光に、光線高さ（ r ）の2乗に比例するデフォーカス成分を含む位相差を付与すると、当該レーザ光に発生する収差としては、光線高さ（ r ）の1乗に比例するチルト成分のみが残る。当該チルト成分は、レーザ光のスポット形状に影響を与えない。そのため、液晶素子14が当該液晶素子14を透過するレーザ光に与える位相差に、デフォーカス成分を含むことにより、軸ズレなどに起因するコマ収差を低減することができる。

[0076] また、図12A、B、C～図14A、B、Cでは、レーザ光に、 -1λ 以上、 0λ 以下の範囲内でレーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差Aを付与することにより、 $-125m\lambda\text{ rms}$ の球面収差量Aを補正する収差を発生させている。また、図12A、B、C～図14A、B、Cでは、レーザ光に、当該レーザ光の径方向に沿って約 -4λ から約 $+4\lambda$ まで略連続的に変化する位相差Bを付与することにより、 $-63m\lambda\text{ rms}$ から $+63m\lambda\text{ rms}$ までの略連続的な値の球面収差量Bを補正する収差を発生させている。そして、液晶素子14は、レーザ光に、球面収差量Aを補正する収差と球面収差量Bを補正する収差とを合わせて発生させることにより、 $-188m\lambda\text{ rms}$ から $-63m\lambda\text{ rms}$ までの球面収差量を略連続的に補正する収差を発生させている。ここで、図12A、B、C～図14A、B、Cに

において、位相差Aと位相差Bとを合わせた値の絶対値の最大値は、約 4λ となっている。

[0077] 同様に、図18A、B、C～図20A、B、Cでは、レーザ光に、 0λ 以上、 $+1\lambda$ 以下の範囲内でレーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差Aを付与することにより、 $+125m\lambda\text{ rms}$ の球面収差量Aを補正する収差を発生させている。また、図18A、B、C～図20A、B、Cでは、レーザ光に、当該レーザ光の径方向に沿って約 -4λ から約 $+4\lambda$ まで略連続的に変化する位相差Bを付与することにより、 $-63m\lambda\text{ rms}$ から $+63m\lambda\text{ rms}$ までの略連続的な値の球面収差量Bを補正する収差を発生させている。そして、液晶素子14は、レーザ光に、球面収差量Aを補正する収差と球面収差量Bを補正する収差とを合わせて発生させることにより、 $+63m\lambda\text{ rms}$ から $+188m\lambda\text{ rms}$ までの球面収差量を略連続的に補正する収差を発生させている。ここで、図18A、B、C～図20A、B、Cにおいて、位相差Aと位相差Bとを合わせた値の絶対値の最大値は、約 4λ となっている。

[0078] また、図15A、B、C～図17A、B、Cでは、位相差A=0であるため、球面収差量A=0となっている。また、図15A、B、C～図17A、B、Cでは、レーザ光に、当該レーザ光の径方向に沿って約 -4λ から約 $+4\lambda$ まで略連続的に変化する位相差Bを付与することにより、 $-63m\lambda\text{ rms}$ から $+63m\lambda\text{ rms}$ までの略連続的な値の球面収差量Bを補正する収差を発生させている。そして、液晶素子14は、レーザ光に、球面収差量Aを補正する収差と球面収差量Bを補正する収差とを合わせて発生させることにより、 $-63m\lambda\text{ rms}$ から $+63m\lambda\text{ rms}$ までの球面収差量を略連続的に補正する収差を発生させている。ここで、図15A、B、C～図17A、B、Cにおいて、位相差Aと位相差Bとを合わせた値の絶対値の最大値は、約 4λ となっている。

[0079] したがって、図12A、B、C～図21A、B、Cに示すように、実施例1にかかる液晶素子14により、レーザ光に、 $-188m\lambda\text{ rms} \sim +18$

$8m\lambda_{rms}$ の球面収差を補正する収差を略連続的に発生させることができる。また、レーザ光に当該球面収差を略連続的に補正する収差を発生させるために、液晶素子14により、レーザ光に付与する位相差の絶対値の最大値は、約 4λ である。一方、従来の液晶素子により、レーザ光に当該球面収差を略連続的に補正する収差を発生させるために、レーザ光に付与する位相差の絶対値は、図8に示すように、約 13λ である。したがって、実施例1にかかる液晶素子14を用いることにより、球面収差を補正するためにレーザ光に付与すべき位相差を約 $1/3$ に低減することができる。

換言すれば、液晶素子14は、レーザ光に比較的小さな位相差を付与することにより、大きな収差を略連続的に補正することができる。

[0080] 実際には、液晶素子14は、略輪帯状に形成された透明電極により駆動されるため、液晶素子14を透過するレーザ光に付与される位相差は、図12A、B、C～図20A、B、Cに示すように連続した値ではなく、階段状に変化する値となる。図22A～Cに、実際に、液晶素子14により、レーザ光に付与される位相差を示す。図22A～Cは、図12A～Cに示す位相差と同じ値の位相差をレーザ光に付与する場合について示している。

図22Aに、位相差Aを示し、図22Bに、位相差Bを示す。また、図22Cに、液晶素子14全体でレーザ光に付与する位相差、すなわち、位相差Aと位相差Bとを合わせた位相差を示す。

[0081] 図22Aに示すように、第1の透明電極層146及び第4の透明電極層149において、レーザ光に付与する位相差が各透明電極の輪帯毎に 0.2λ ずつ異なるように、各透明電極は電圧を印加する。例えば、第2の透明電極層147、第3の透明電極層148に印加する電圧を無視した場合、図22Aでは、レーザ光の光軸から外縁側に向かうにつれて、各透明電極の輪帯毎に 0.2λ ずつレーザ光に付与される位相差が増えていく。そして、レーザ光に付与される位相差は、光軸から5輪帯目で -1λ に達した後、6輪帯目を透過したレーザ光に付与される位相差は 0λ となる。したがって、5輪帯目を透過したレーザ光と6輪帯目を透過したレーザ光との位相差は 1λ と

なる。そして、6輪帯から10輪帯まで、 -0.2λ ずつレーザ光に付与される位相差が増えていく。このように、第1の透明電極層146及び第4の透明電極層149により電圧が印加されることにより、第1の液晶層144及び第2の液晶層145は、レーザ光に、当該レーザ光の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与する。また、第1の透明電極層146及び第4の透明電極層149により電圧が印加されることにより、第1の液晶層144及び第2の液晶層145は、第1の透明電極層146及び第4の透明電極層149において隣り合う透明電極を透過するレーザ光間に 1λ の位相差を付与する部分を有する。具体的には、図22Aに示すように、5輪帯を透過するレーザ光と6輪帯を透過するレーザ光との位相差、10輪帯を透過するレーザ光と11輪帯を透過するレーザ光との位相差、15輪帯を透過するレーザ光と16輪帯を透過するレーザ光との位相差、20輪帯を透過するレーザ光と21輪帯を透過するレーザ光との位相差、25輪帯を透過するレーザ光と26輪帯を透過するレーザ光との位相差、30輪帯を透過するレーザ光と31輪帯を透過するレーザ光との位相差、35輪帯を透過するレーザ光と36輪帯を透過するレーザ光との位相差、40輪帯を透過するレーザ光と41輪帯を透過するレーザ光との位相差が 1λ となっている。なお、実際には、隣り合う透明電極間の境界部分は、隣接する透明電極との電位差により電界が発生したり、液晶分子の方向が滑らかに変化したりする。そのため、隣り合う透明電極間の境界部分を透過するレーザ光の位相は滑らかに変化する。

[0082] また、図22Aに示すように、第1の透明電極層146及び第4の透明電極層149に設けられる透明電極の輪帯数は43輪帯となっている。一方、図22Bに示すように、第2の透明電極層147及び第3の透明電極層148に設けられる透明電極の輪帯数は20輪帯となっている。したがって、第1の透明電極層146及び第4の透明電極層149に設けられる透明電極の輪帯数の方が、第2の透明電極層147及び第3の透明電極層148に設けられる透明電極の輪帯数よりも多くなっている。

図 2 2 A に示すように、第 1 の透明電極層 1 4 6 及び第 4 の透明電極層 1 4 9 では、同じ電圧を印加する輪帯が複数存在する。そのため、図 3 に示すように、同じ電圧を印加する輪帯をつないで 1 本の透明電極とすることにより、引き出し電極の本数を低減することができる。しかし、図 2 2 B に示すように、第 2 の透明電極層 1 4 7 及び第 3 の透明電極層 1 4 8 では、同じ電圧を印加する輪帯が存在しない。そのため、個々の輪帯の透明電極に引き出し電極を設ける必要がある。したがって、第 2 の透明電極層 1 4 7 及び第 3 の透明電極層 1 4 8 における透明電極の輪帯数が多いと、その分、引き出し電極が占める面積が増大する。

[0083] また、液晶素子 1 4 のレーザ光が透過する部分のうち、引き出し電極が占める部分では、不要な収差などが発生してしまう。したがって、引き出し電極が占める面積を低減することが好ましい。そのため、液晶素子 1 4 に形成する透明電極の輪帯数は少ない方が好ましい。一方、液晶素子 1 4 に形成する透明電極の輪帯数が多いほど、収差補正をより連続的に行うことができるため、光利用効率が向上する。

そのため、引き出し電極の本数を低減可能な第 1 の透明電極層 1 4 6 及び第 4 の透明電極層 1 4 9 に形成する透明電極の輪帯数を、第 2 の透明電極層 1 4 7 及び第 3 の透明電極層 1 4 8 に形成する透明電極の輪帯数よりも多くする方が好ましい。これにより、光利用効率の向上を図りながら、液晶素子 1 4 において引き出し電極が占める面積の低減を図ることができる。

[0084] なお、本発明は、液晶素子 1 4 によりレーザ光に比較的小さい位相差を付与することにより大きな収差を補正するものであり、補正する収差は球面収差に限られるものではない。例えば、実施例 1 では、液晶素子 1 4 において発生する位相差を光線高さの 2 乗に比例するデフォーカス成分としたが、デフォーカス成分を減らして、その分、球面収差成分が含まれてもよい。

産業上の利用可能性

[0085] 大きな収差を略連続的に補正可能な液晶素子及び光ピックアップ光学系を提供することができる。

符号の説明

- [0086] 1 光ピックアップ光学系
- 1 1 レーザダイオード（レーザ光源）
 - 1 4 液晶素子
 - 1 4 1 第1の透明基板（第1の透明基板）
 - 1 4 2 第2の透明基板（第2の透明基板）
 - 1 4 3 第3の透明基板（第1の透明基板）
 - 1 4 4 第1の液晶層（屈折率異方性媒質層）
 - 1 4 5 第2の液晶層（屈折率異方性媒質層）
 - 1 4 6 第1の透明電極層（第1の透明電極層）
 - 1 4 7 第2の透明電極層（第2の透明電極層）
 - 1 4 8 第3の透明電極層（第2の透明電極層）
 - 1 4 9 第4の透明電極層（第1の透明電極層）
 - 1 7 対物レンズ
 - 1 9 光ディスク（光記録媒体）

請求の範囲

[請求項1]

第1の透明基板と、

前記第1の透明基板と対向する第2の透明基板と、

前記第1の透明基板と前記第2の透明基板との間に挟持される屈折率異方性媒質層と、

前記第1の透明基板に、略輪帯状に形成された大きさの異なる複数の第1の透明電極が光軸を中心として同心円状に配設されてなる第1の透明電極層と、

前記第2の透明基板に、略輪帯状に形成された大きさの異なる複数の第2の透明電極が光軸を中心として同心円状に配設されてなる第2の透明電極層と、

を備え、

前記第1の透明電極層において、略同じ値の電圧を印加する前記第1の透明電極が前記第1の透明基板の径方向に略周期的に配設されており、

前記第1の透明電極層は、前記屈折率異方性媒質層が、前記液晶素子を透過する光束に、 $-h\lambda$ 以上、 $+h\lambda$ 以下の範囲内（ h は、 $h \geq 1$ を満たす整数、 λ は設計波長）で、光束の径方向に沿って略周期的に変化する位相差を付与するとともに、隣り合う前記第1の透明電極を透過する光束間に $h\lambda$ の位相差を付与する部分を有するように、前記屈折率異方性媒質層に電圧を印加し、

前記第2の透明電極層は、前記屈折率異方性媒質層が、前記液晶素子を透過する光束に、光束の径方向に沿って略連続的に変化する位相差を付与するように、前記屈折率異方性媒質層に電圧を印加する液晶素子。

[請求項2]

前記液晶素子により当該液晶素子を透過する光束に収差を発生させることによって補正する球面収差量の範囲が $-S$ 以上、 $+S$ 以下（ S は正の数）である場合に、

前記第 1 の透明電極層は、前記屈折率異方性媒質層が、前記液晶素子を透過する光束に、 $-(i/j)S$ (j が奇数の場合、 i は、 $i \leq j$ を満たす偶数、 j が偶数の場合、 i は、 $i \leq j$ を満たす奇数)、 0 、 $+(i/j)S$ の球面収差量を補正するような収差を発生させるように、前記屈折率異方性媒質層に電圧を印加する請求項 1 に記載の液晶素子。

[請求項3] 前記第 2 の透明電極層は、前記屈折率異方性媒質層が、前記液晶素子を透過する光束に、 $-(1/j)S$ 以上、 $+(1/j)S$ 以下の範囲内で略連続的な値の球面収差量を補正するような収差を発生させるように、前記屈折率異方性媒質層に電圧を印加する請求項 2 に記載の液晶素子。

[請求項4] 前記液晶素子は、レーザ光源からの光束を光記録媒体に集光する光ピックアップ光学系の所定位置に固定して配置されており、

前記液晶素子が前記液晶素子を透過する光束に与える位相差は、デフォーカス成分を含む請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の液晶素子。

[請求項5] 前記第 1 の透明電極層は、異なる電圧が印加される複数本の前記第 1 の透明電極を有し、

前記第 1 の透明電極は、同じ電圧が印加される複数の輪帯状の透明電極を備え、

前記輪帯状の透明電極は、一部が欠失されてなる端部を有し、

前記内側の輪帯状の透明電極の端部と、前記内側の輪帯状の透明電極と同じ電圧を印加する外側の輪帯状の透明電極の端部と、が略半径方向に沿って引き出し電極により順次接続され、

複数本の前記第 1 の透明電極の前記引き出し電極が互いに重なり合わないよう配置されている請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の液晶素子。

[請求項6] 前記第 1 の透明電極層に設けられる前記第 1 の透明電極の輪帯数よ

りも、前記第2の透明電極層に設けられる前記第2の透明電極の輪帯数のほうが少ない請求項1乃至5の何れか一項に記載の液晶素子。

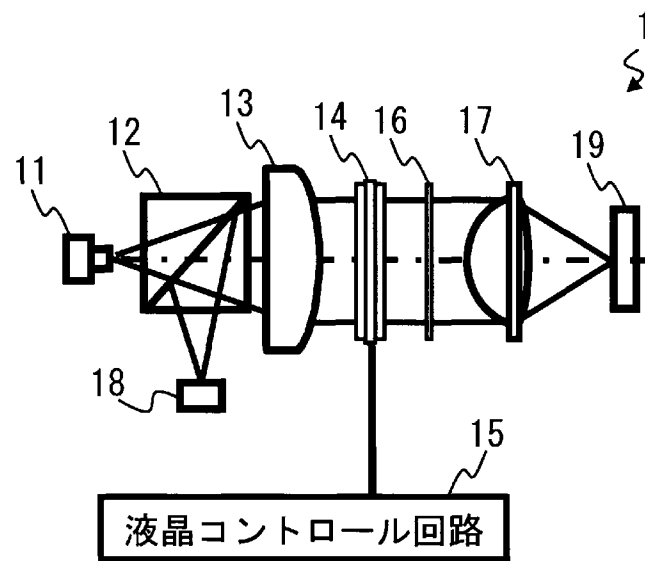
[請求項7] レーザ光源からの光束を光記録媒体に集光する光ピックアップ光学系であって、

請求項1乃至6の何れか一項に記載の液晶素子を用いる光ピックアップ光学系。

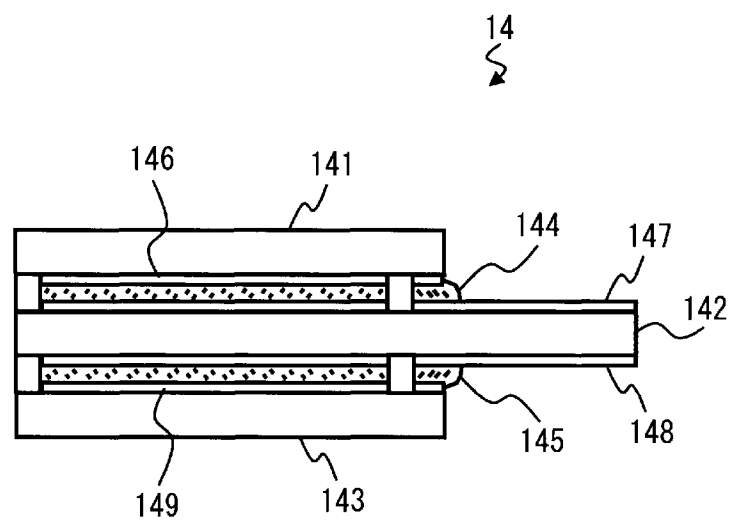
[請求項8] 前記レーザ光源からの光束を前記光記録媒体に集光する対物レンズを備え、

前記対物レンズは、プラスチックレンズである請求項7に記載の光ピックアップ光学系。

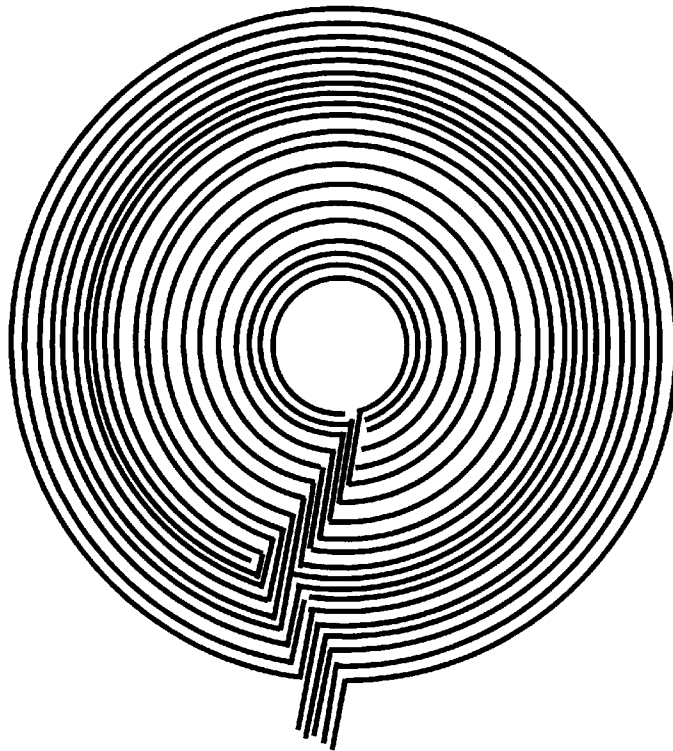
[図1]



[図2]



[図3]



[図4]

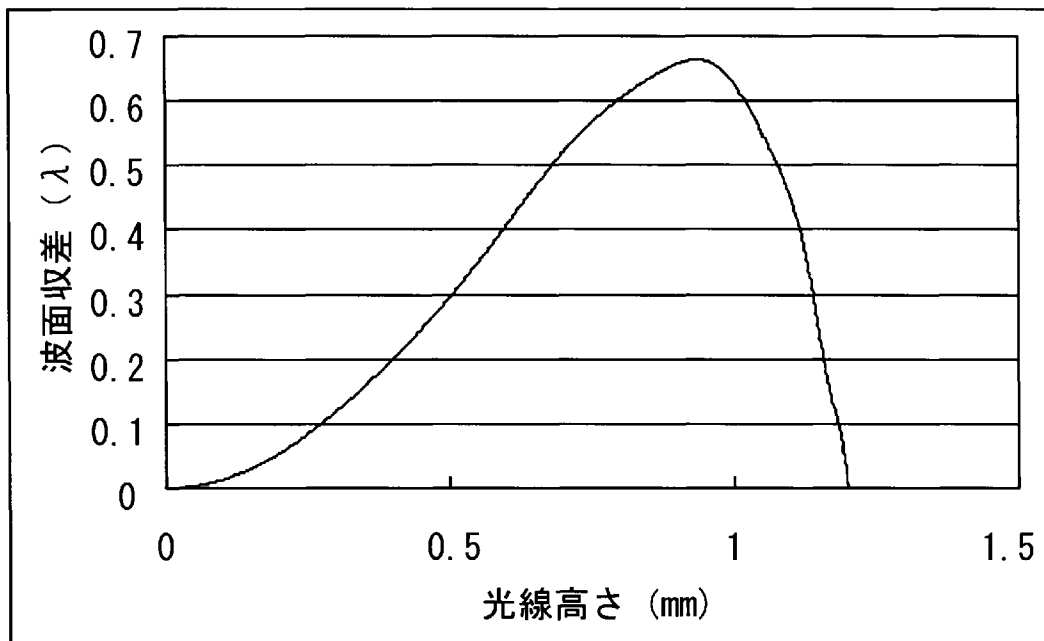
	R1	R2
c	1.105046	-0.73243
k	-0.86665	-2.39777
$\alpha 1$	0	0
$\alpha 2$	0.059934	1.152239
$\alpha 3$	0.001168	-2.09306
$\alpha 4$	0.108386	-0.47988
$\alpha 5$	-0.21834	9.455036
$\alpha 6$	0.276896	-17.3285
$\alpha 7$	-0.16781	13.54728
$\alpha 8$	0.039284	-3.97208

[図5]

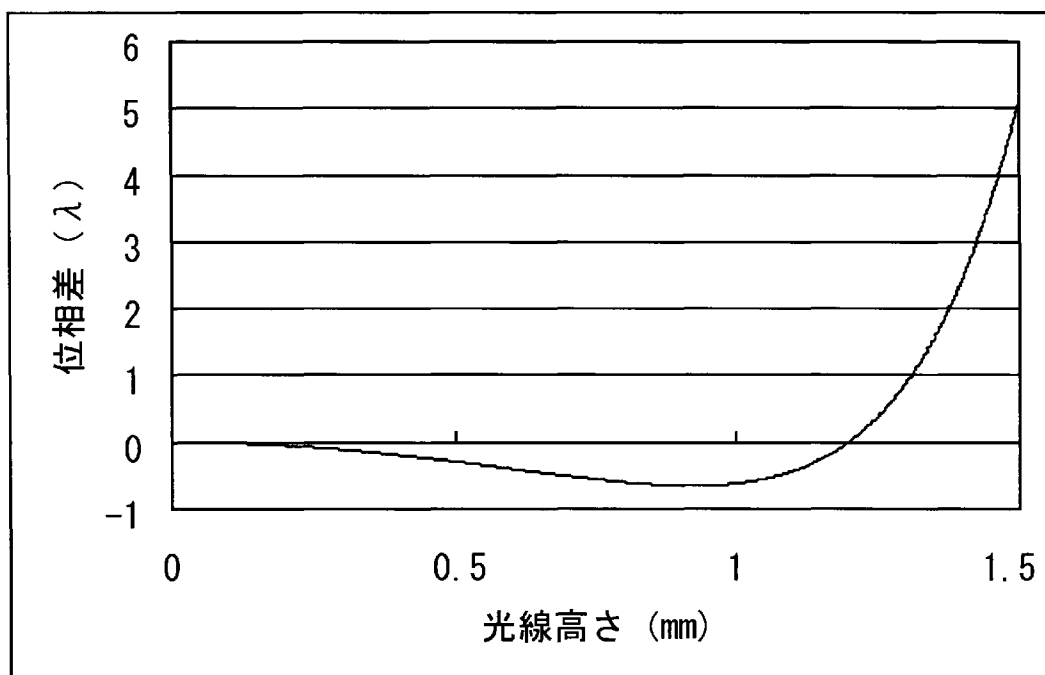
状態	面間距離(mm)			屈折率
	A	B	C	
物体面	∞	∞	∞	—
液晶	5	5	5	—
絞り面	0	0	0	—
対物レンズ面1(R1)	1.7810	1.7810	1.7810	1.53
対物レンズ面2(R2)	0.3949	0.3856	0.3923	—
光記録媒体の基板	0.0875	0.1057	0.1057	1.62
情報記録面	—	—		—

焦点距離：1.41mm、絞り径： $\phi 2.4\text{mm}$ 、波長：405nm、NA：0.85

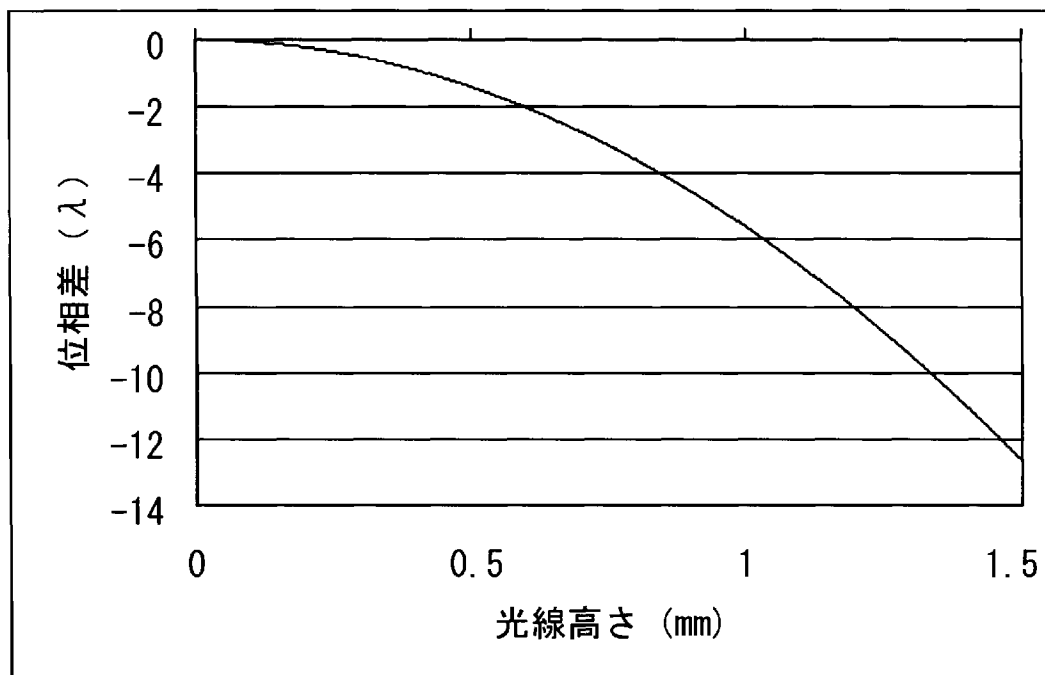
[図6]



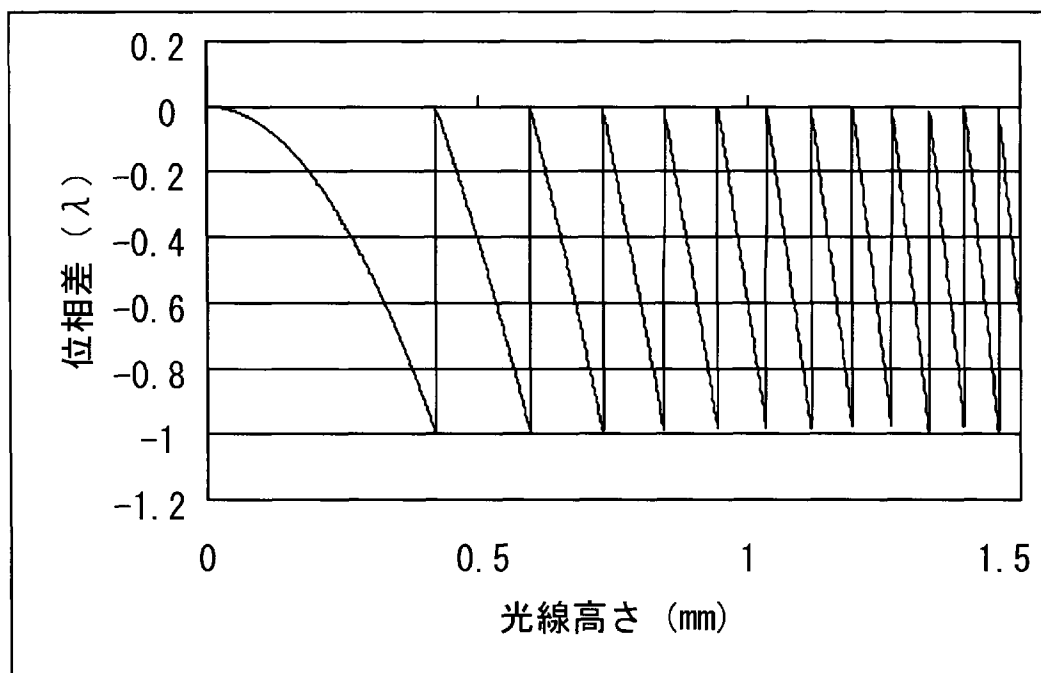
[図7]



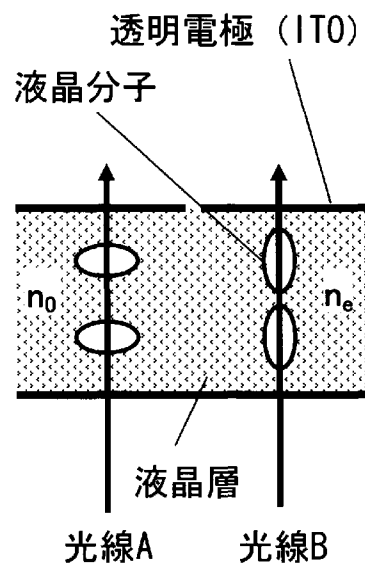
[図8]



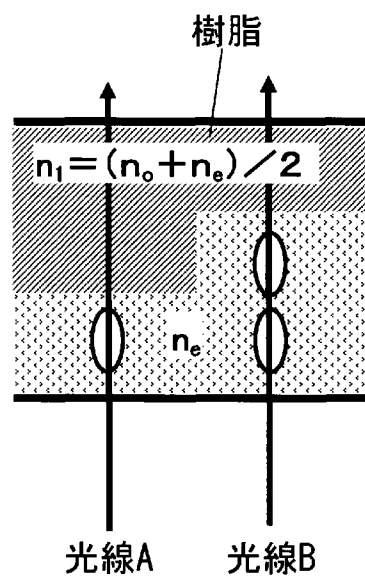
[図9]



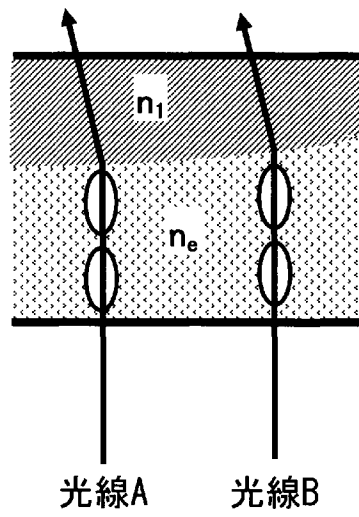
[図10A]



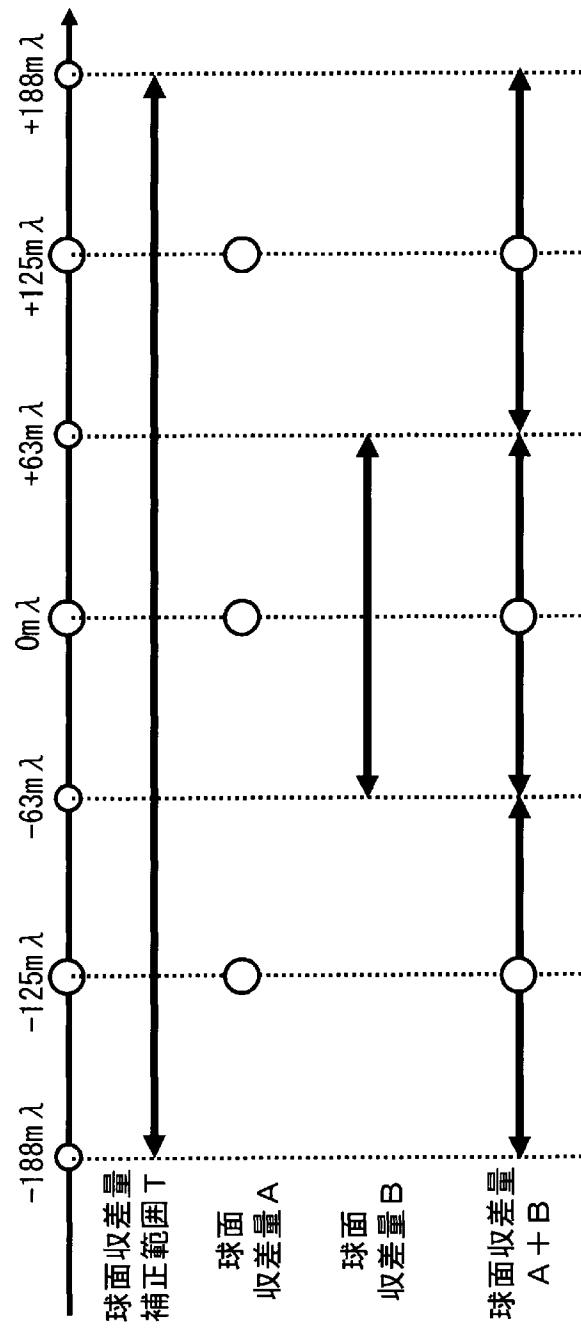
[図10B]



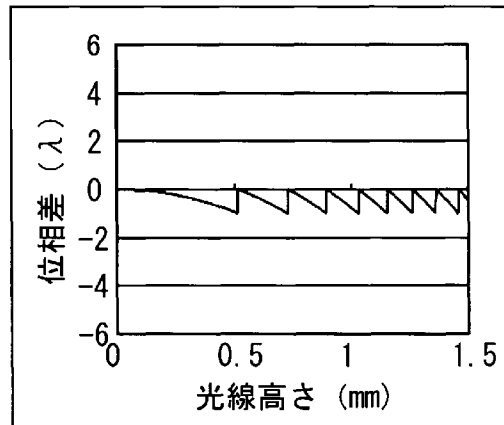
[図10C]



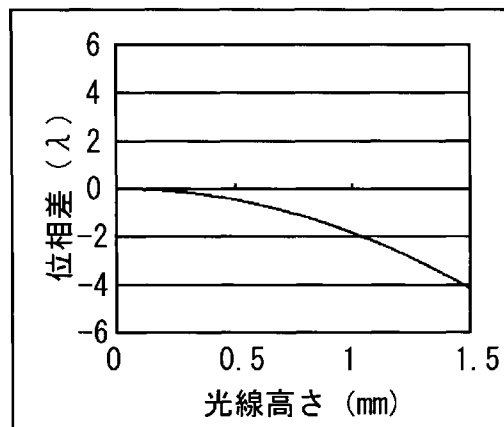
[図11]



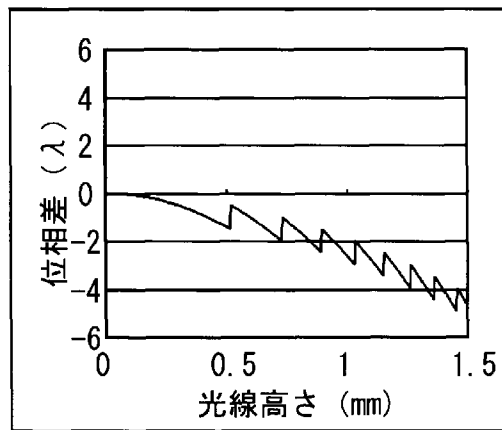
[図12A]



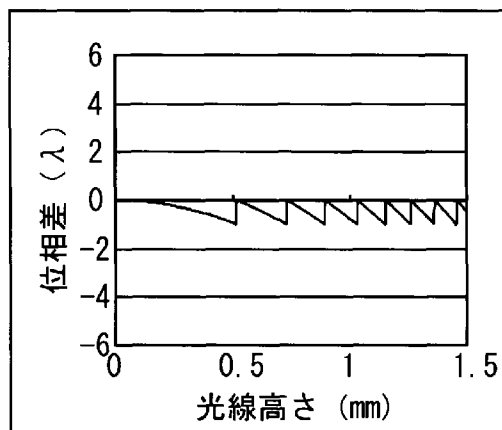
[図12B]



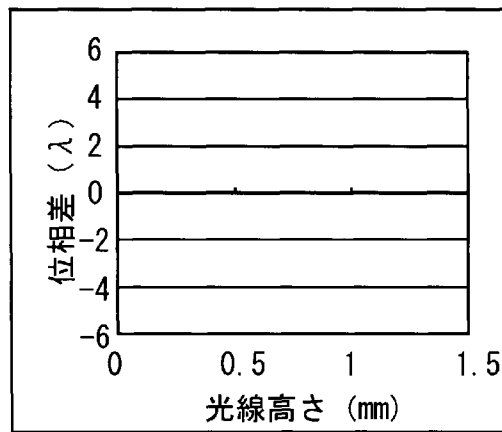
[図12C]



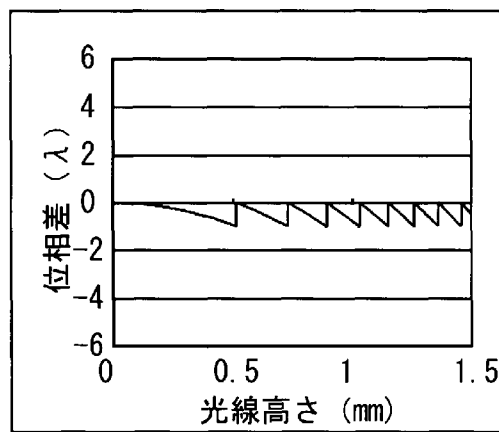
[図13A]



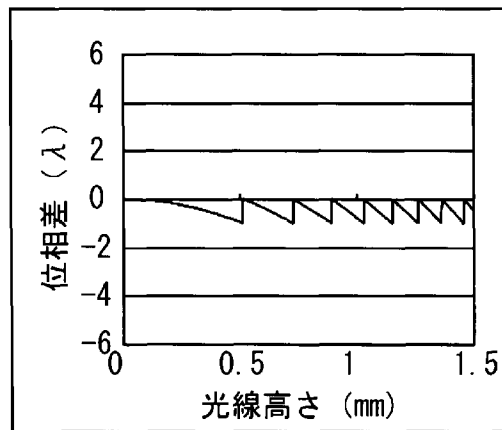
[図13B]



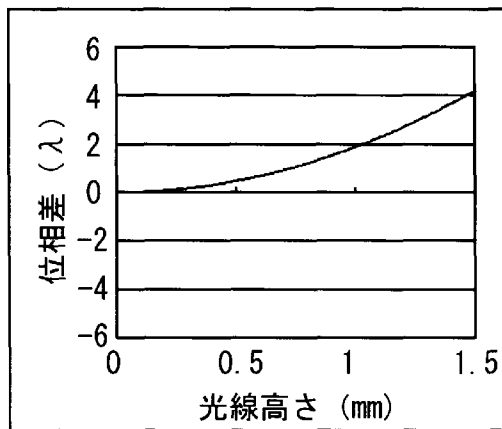
[図13C]



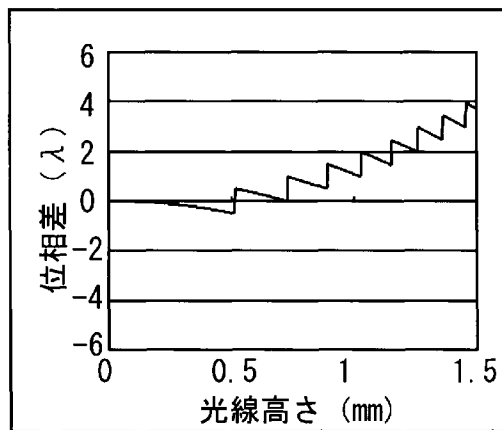
[図14A]



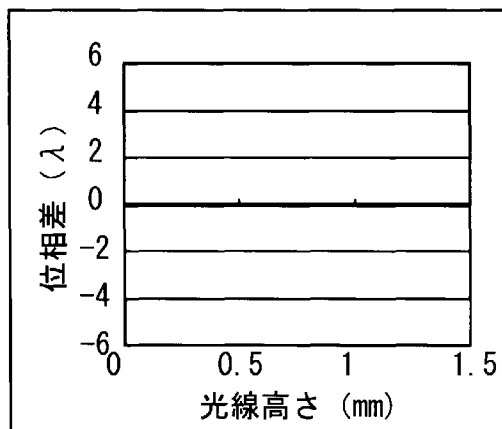
[図14B]



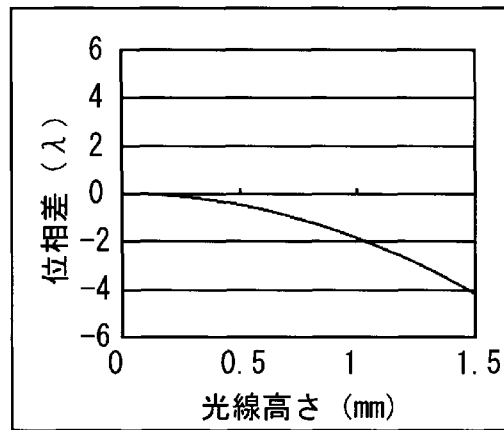
[図14C]



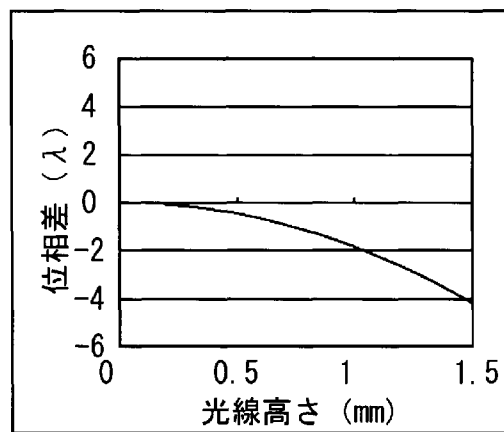
[図15A]



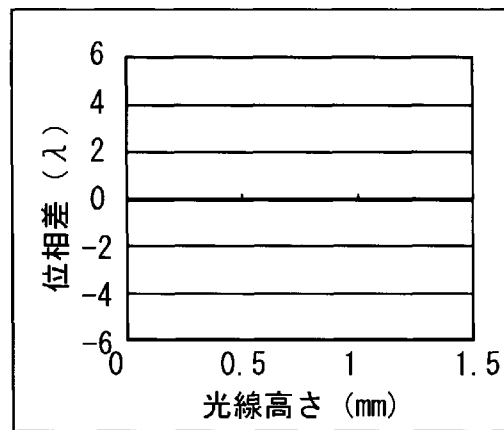
[図15B]



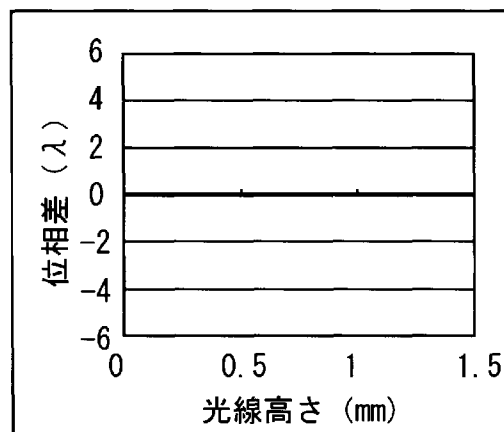
[図15C]



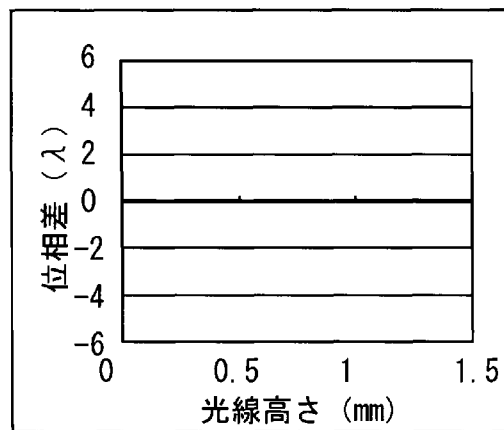
[図16A]



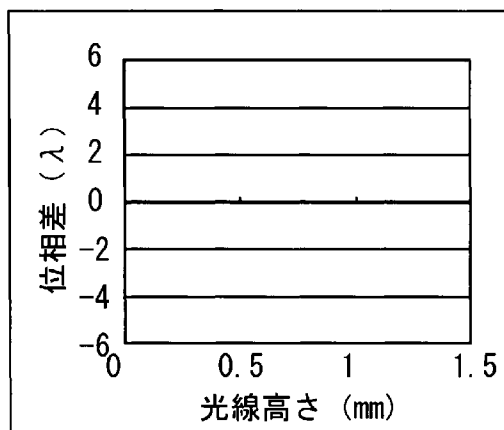
[図16B]



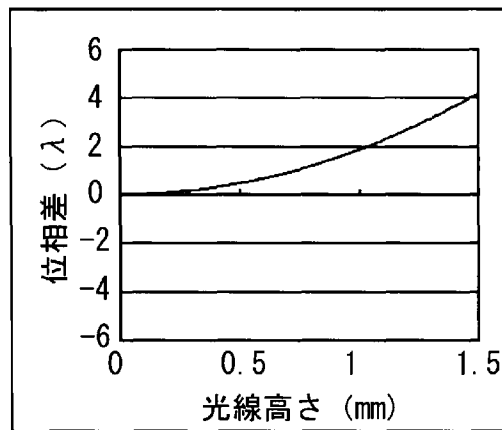
[図16C]



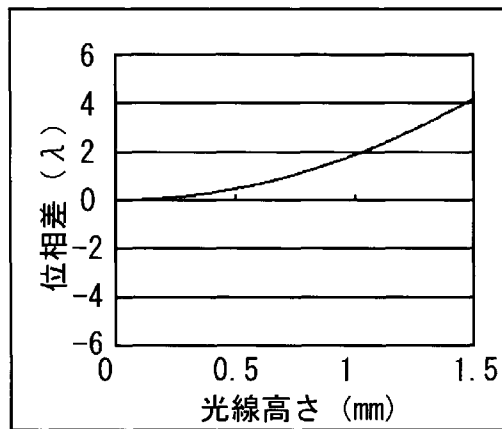
[図17A]



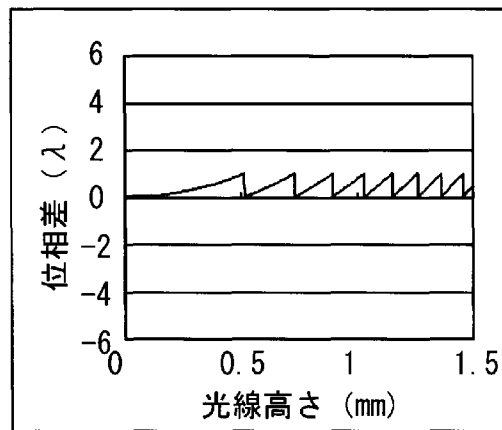
[図17B]



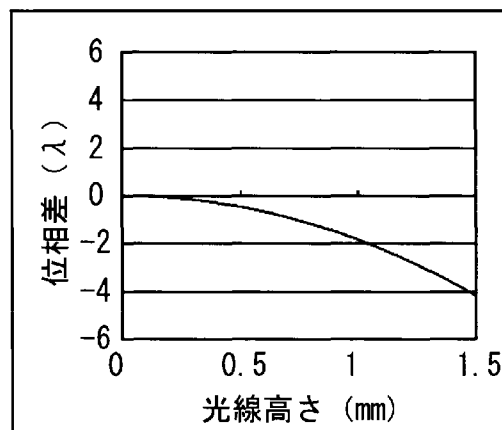
[図17C]



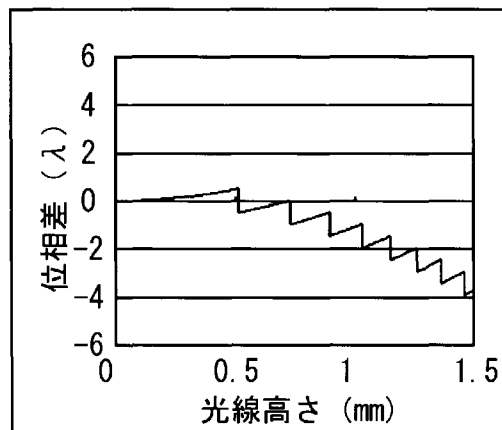
[図18A]



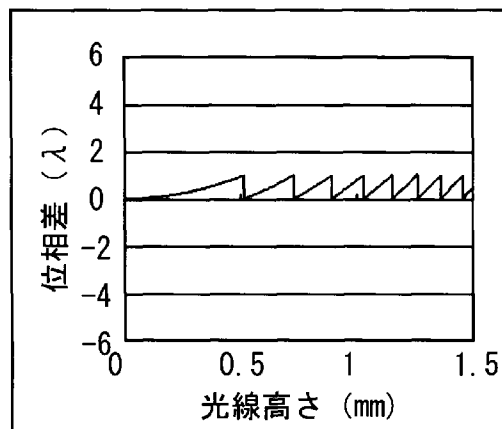
[図18B]



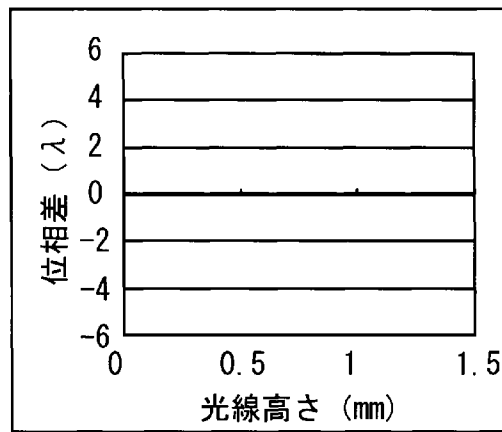
[図18C]



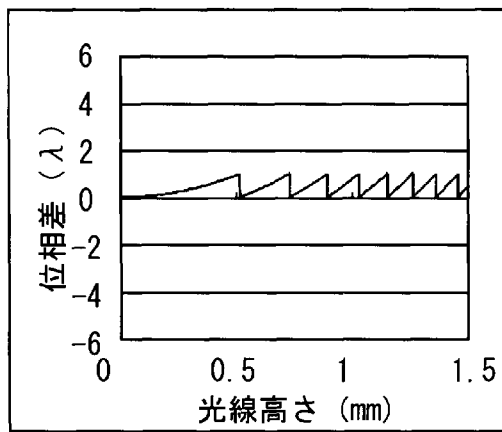
[図19A]



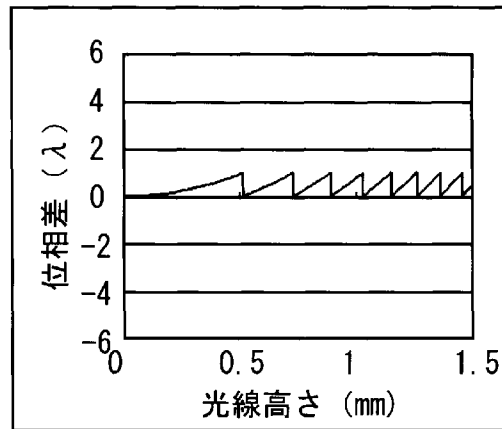
[図19B]



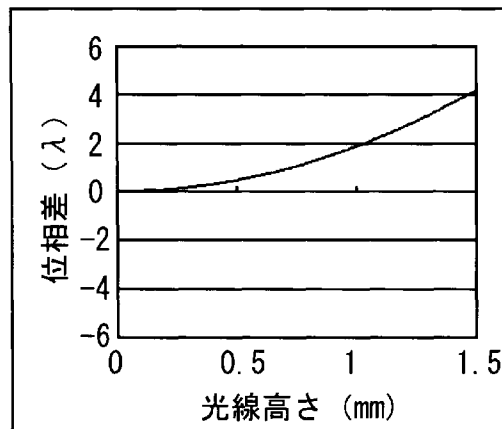
[図19C]



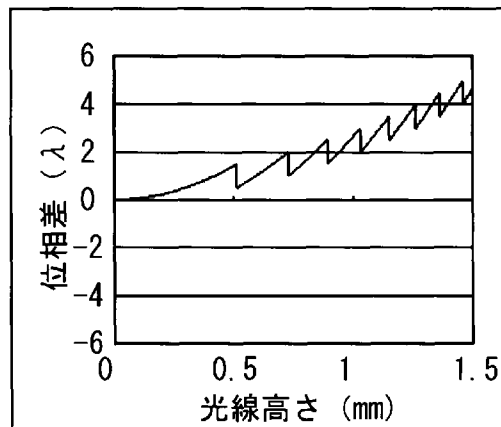
[図20A]



[図20B]



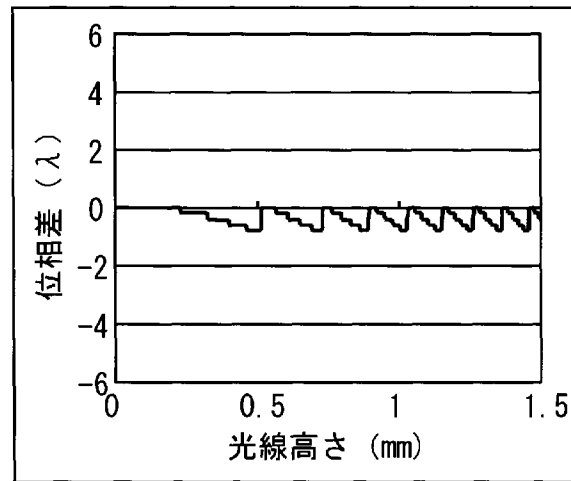
[図20C]



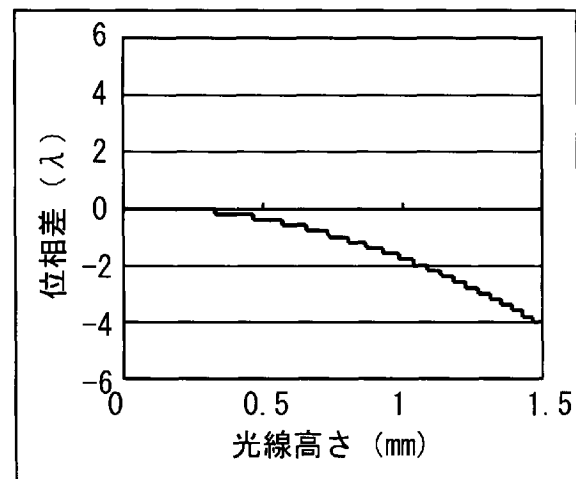
[図21]

球面収差補正量			基板厚み (mm)	COMA 3 (mλ rms)	図番号
トータル	収差量A	収差量B			
-188	-125	-63	0.106	0.3	12A~12C
-125	-125	0	0.100	0.1	13A~13C
-63	-125	+63	0.094	0.9	14A~14C
-63	0	-63	0.093	1.6	15A~15C
0	0	0	0.088	0	16A~16C
+63	0	+63	0.082	2.5	17A~17C
+63	+125	-63	0.081	0	18A~18C
+125	+125	0	0.076	3.4	19A~19C
+188	+125	+63	0.070	-7.6	20A~20C

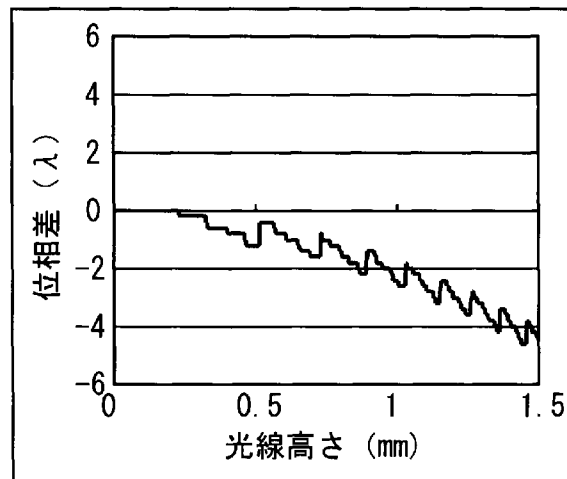
[図22A]



[図22B]



[図22C]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/003880

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G11B7/135(2006.01)i, G02F1/13(2006.01)i, G02F1/1343(2006.01)i, G02F1/1347(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)

G11B7/135, G02F1/13, G02F1/1343, G02F1/1347

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	WO 2006/013901 A1 (Asahi Glass Co., Ltd.), 09 February, 2006 (09.02.06), Par. Nos. [0017] to [0018], [0039] to [0040], [0070], [0073], [0076] to [0078], [0079] to [0080], [0088], [0089] to [0096]; Figs. 14 to 17, 20, 22 to 25 & JP 2006-48818 A & JP 2006-85801 A & US 2007/0183293 A1 & EP 1785991 A1 & CN 1993748 A	1-8
Y	WO 2008/047750 A1 (NEC Corp.), 24 April, 2008 (24.04.08), Par. Nos. [0054], [0062], [0067], [0069], [0080]; Figs. 7 to 8 (Family: none)	1-8

☒ 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
28 August, 2009 (28.08.09)

Date of mailing of the international search report
08 September, 2009 (08.09.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/003880

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004-101885 A (Pioneer Corp.), 02 April, 2004 (02.04.04), Par. Nos. [0025] to [0033]; Figs. 7, 10 to 13 & US 2004/0108984 A1	1-8
Y	JP 2002-15454 A (Pioneer Corp.), 18 January, 2002 (18.01.02), Par. Nos. [0011] to [0017], [0020] to [0022]; Figs. 1 to 5, 9 & US 2002/0024688 A1 & EP 1168055 A2	1-8
Y	JP 2008-65864 A (Sony Corp.), 21 March, 2008 (21.03.08), Par. Nos. [0059], [0065] to [0070]; Fig. 2 (Family: none)	4

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G11B7/135(2006.01)i, G02F1/13(2006.01)i, G02F1/1343(2006.01)i, G02F1/1347(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（I P C））

Int.Cl. G11B7/135, G02F1/13, G02F1/1343, G02F1/1347

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 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 請求項の番号
Y	WO 2006/013901 A1（旭硝子株式会社）2006.02.09, 段落 [0017]-[0018]、[0039]-[0040]、[0070]、[0073]、[0076]-[0078]、 [0079]-[0080]、[0088]、[0089]-[0096]、図 14-17、20、22-25 & JP 2006-48818 A & JP 2006-85801 A & US 2007/0183293 A1 & EP 1785991 A1 & CN 1993748 A	1-8
Y	WO 2008/047750 A1（日本電気株式会社）2008.04.24, 段落[0054]、 [0062]、[0067]、[0069]、[0080]、図 7-8（ファミリーなし）	1-8

☒ 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

2 8 . 0 8 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

0 8 . 0 9 . 2 0 0 9

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

鈴木 肇

5 D

9 8 4 7

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 5 1

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 請求項の番号
Y	JP 2004-101885 A (パイオニア株式会社) 2004. 04. 02, 段落【0025】 - 【0033】、図 7、10-13 & US 2004/0108984 A1	1-8
Y	JP 2002-15454 A (パイオニア株式会社) 2002. 01. 18, 段落【0011】 - 【0017】、【0020】 - 【0022】、図 1-5、9 & US 2002/0024688 A1 & EP 1168055 A2	1-8
Y	JP 2008-65864 A (ソニー株式会社) 2008. 03. 21, 段落【0059】、【0065】 - 【0070】、図 2 (ファミリーなし)	4