

(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
2012 年 6 月 28 日(28.06.2012)



(10) 国際公開番号

WO 2012/086600 A1

- (51) 国際特許分類:
G11B 7/135 (2012.01) G02B 5/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/079403
- (22) 国際出願日: 2011 年 12 月 19 日(19.12.2011)
- (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 2010-288253 2010 年 12 月 24 日(24.12.2010) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 旭硝子株式会社(Asahi Glass Company, Limited) [JP/JP]; 〒1008405 東京都千代田区丸の内一丁目 5 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): 宮坂 浩司(MIYASAKA Koji) [JP/JP]; 〒9630215 福島県郡山市待池台 1-8 郡山西部第二工業団地 AGC エレクトロニクス株式会社内 Fukushima (JP). 野村 ▲琢▼治(NOMURA Takuji) [JP/JP]; 〒9630215 福島県郡山市待池台 1-8 郡山西部第二工業団地 AGC エレクトロニクス株式会社内 Fukushima (JP). 小野 健介(ONO Kensuke) [JP/JP]; 〒9630215 福島県郡山市待池台 1-8 郡山西

部第二工業団地 AGC エレクトロニクス株式会社内 Fukushima (JP). 中山 元志(NAKAYAMA Motoshi) [JP/JP]; 〒9630215 福島県郡山市待池台 1-8 郡山西部第二工業団地 AGC エレクトロニクス株式会社内 Fukushima (JP).

(74) 代理人: 小栗 昌平, 外(OGURI Shohei et al.); 〒1050003 東京都港区西新橋一丁目 7 番 13 号 虎ノ門イーストビルディング 10 階 栄光特許事務所 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, 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, 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

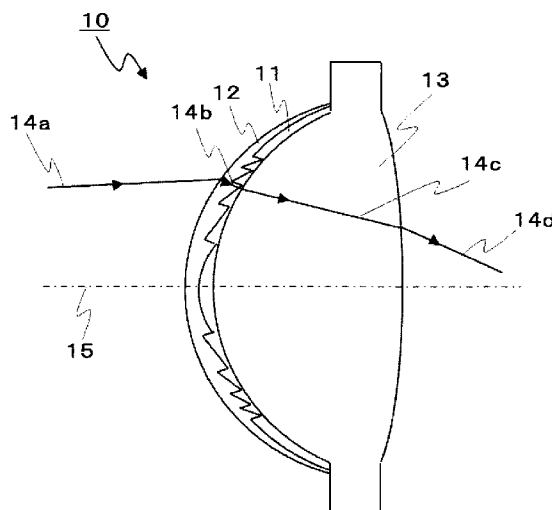
(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨー

[続葉有]

(54) Title: DIFFRACTION OPTICAL ELEMENT AND OPTICAL HEAD DEVICE

(54) 発明の名称: 回折光学素子および光ヘッド装置

[図1]



(57) Abstract: Provided is a diffraction optical element, comprising: a diffraction grating with a curved surface; and a diffraction grating shape which facilitates increasing the diffraction efficiency with respect to light of wavelengths which cause diffraction to occur, and ease in manufacture thereof. A diffraction optical element (10) is designed to have a unified configuration, wherein a first medium layer (11) is bonded on the obverse face of a substrate part (13) which has a curved surface, and a second medium layer (12) is bonded on the obverse face of the first medium layer (11), and such that the height direction of the diffraction grating formed by the interface between the first medium layer (11) and the second medium layer (12) approximately matches the direction of the light ray (14b) which enters the diffraction grating. Furthermore, the diffraction grating is formed to have an unevenness which does not get caught when the first medium layer (11) is released from a mold in the direction of the optical axis (15).

(57) 要約: 曲面に回折格子を有し、回折を発生させる波長の光に対する回折効率が高くできるとともに、容易に製造できる回折格子の形状を有する回折光学素子を提供する。回折光学素子 10 は、曲面を有する基材部 13 の表面に第 1 の媒質層 11 が接合され、第 1 の媒質層 11 の表面に第 2 の媒質層 12 が接

合されており、一体化された構成となっており、第 1 の媒質層 11 と第 2 の媒質層 12 の界面によって形成される回折格子の高さ方向と、回折格子に入射する光線 14b の方向とが略一致するように、設計される。さらに、第 1 の媒質層 11 は光軸 15 方向に離型するときにつ引っ掛かりがない凹凸となるように回折格子が形成される。



ロツパ (AL, 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, RS, SE, SI, SK,
SM, 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 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：回折光学素子および光ヘッド装置

技術分野

[0001] 本発明は、入射する光を回折して集光させる作用を有する回折光学素子および光ヘッド装置に関する。

背景技術

[0002] 光ディスクとして、Blu-ray（商品名、以下、BD）、DVD、CDが幅広く普及している。これらBD、DVD、CDは、記録および／または再生（以下、「記録・再生」という。）に用いる光の波長等が異なっている。具体的には、BDは、基板の厚さ（カバー層の厚さ）が0.1mmの情報記録媒体に、波長405nmの光源から出射された光をNA（開口数）が0.85の対物レンズにより集光させることにより情報の記録・再生を行う。DVDは、基板の厚さ（カバー層の厚さ）が0.6mmの情報記録媒体に、波長660nmの光源から出射された光をNAが0.65の対物レンズにより集光させることにより情報の記録・再生を行う。CDは、基板の厚さ（カバー層の厚さ）が1.2mmの情報記録媒体に、波長780nmの光源から出射された光をNAが0.45の対物レンズにより集光させることにより情報の記録・再生を行う。

[0003] 上述したBD、DVD、CDにおける光ディスクにおいて、1つの対物レンズにより各々の光ディスクに使用する波長の光を集光することを考えた場合、各々の光ディスクのカバー層の厚さの違いに起因して発生する球面収差を補正することができ、各光ディスクへの良好な集光特性が得られるようにすることが必要となる。また、この場合、各々の光の光軸方向と平行に移動する対物レンズが、光ディスクの表面と接触することを防ぐため、対物レンズと光ディスクとの間に一定の距離を確保しながら、各光ディスクへの良好な集光特性が得られるようにする必要がある。

[0004] ここで、各光ディスクのカバー層の厚さの違いに起因して発生する球面収

差を補正するために、回折格子の構造を有し、入射する光を回折させる対物レンズの構成が知られている。具体的に、回折による回折角の正弦は、光の波長の逆数と回折次数に比例するため、適切な位相差が得られる構造の回折格子を設計し、回折次数および波長に基づく回折角の違いを利用することで、各光ディスクの球面収差の補正が可能となる。

[0005] このような回折格子としては、凹凸面と接する媒質が空気となるもの、即ち、表面に凹凸を有する構造となるものが考えられる。この場合、空気の屈折率は略1であることに加え、回折格子を構成する媒質（材料）は、波長の逆数の変化に対する屈折率の変化が小さい場合が多い。そのため、凹凸面と接する媒質が空気である場合、回折特性に関しては回折格子の形状により決定される。つまり、この場合、回折格子の形状のみが回折特性の設計の自由度ともいえる。

[0006] これに対して、回折格子の凹凸が空気と接しない場合、即ち、2つの異なる媒質（材料）によって回折格子が構成されている場合、これらの媒質を適宜、選択（調整）することで、これらの媒質の屈折率に基づき、所望の屈折率差を得ることができる。このように、2つの異なる媒質（材料）によって回折格子が構成されているレンズとして、互いに材質が異なる第1光学部と第2光学部の接合面と、互いに材質が異なる第2光学部と第3光学部の接合面に回折構造を有する複合光学素子が報告されている（特許文献1）。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：国際公開第2007／145120号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 上記のように、特許文献1の複合光学素子は、空気ではない、異なる2つの媒質によって回折格子の構造を有するが、一方の媒質が空気（屈折率＝1）である場合に比べると、これらの媒質間での屈折率差は小さい。このため

、これらの媒質間で回折が発生するように、所定の位相差を与えようとする
と、一方の媒質が空気である場合に比べて、回折格子の格子高さを大きくし
なければならいという制約がある。一方、格子高さが大きくなると、格子高
さ方向から入射する光の回折効率に対して、格子高さ方向から傾いた方向か
ら入射する光の回折効率の変化が大きくなる。つまり、回折効率の入射角度
依存性が大きくなり、この傾きが大きくなると回折効率が大きく低減する。
とくに、曲面に回折格子を有する場合は、光が入射する位置によって、光の
入射角度が異なる。ところが、特許文献 1 の複合光学素子は、回折格子の格
子高さ方向と、光の入射角度との関係について考慮されておらず、高い回折
効率を得ることが困難である、という問題があった。

[0009] さらに、特許文献 1 の複合光学素子は、樹脂からなる第 2 光学部と第 3 光
学部との界面により回折格子形状を与えることが開示されているが、下記の
理由により、回折格子形状を高い精度で与え、所望の回折効率を得ることが
困難であるという問題があった。図 1 2 (a) は、特許文献 1 の複合光学素
子の製造工程の一部を示した模式図であり、基材となりレンズ面を有する第
1 光学部 2 0 1 上に、樹脂からなる第 2 光学部 2 0 2 を、金型となる下型 2
0 3 に押し当ててプレスすることによって成形する様子を示したものである
。そして、この工程の後に、樹脂からなる第 2 光学部 2 0 2 と下型 2 0 3 と
を、下型 2 0 3 に対して鉛直方向に離型する工程を経る。

[0010] ところが、特許文献 1 の複合光学素子は、図 1 2 (b) に示す複合光学素
子 2 1 0 が、基材となりレンズ面を有する第 1 光学部 2 1 1 上に、樹脂から
なる第 2 光学部 2 1 2 が接合され、さらにその上に樹脂からなる第 3 光学部
2 1 3 が接合されてなるが、位相段差部 2 1 4 が水平方向に突出する構造を
有する。このとき、複合光学素子 2 1 0 の製造工程のうち、下型により第 2
光学部 2 1 2 および第 3 光学部 2 1 3 を離型する工程において、下型を鉛直
方向に容易に離型することが困難であるとともに、離型の際に良好な回折格
子形状を与えることができない。そのため、所望の回折効率を得ることがで
きず、光利用効率が低下するという問題があった。

[0011] 本発明は、従来技術のかかる問題を解決するためになされたものであり、曲面に回折格子形状を有する回折光学素子について、入射する光に対して高い回折効率が得られるとともに、製造工程において例えば、金型による離型が容易となる回折格子の形状とすることで、所定の光学特性を容易に得られる回折光学素子を提供することを目的とする。さらに、複数の波長の光を取り扱うこの回折光学素子を用いることで小型化が実現できるとともに、各光ディスクに良好な集光特性を与えることで安定した情報の記録・再生ができる光ヘッド装置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

[0012] 本発明は、入射する光の発散状態または収束状態を変化させる回折光学素子であって、第1の媒質層と第2の媒質層とが接合された界面によって形成された回折格子を有し、前記回折格子は、格子側面部と格子曲面部とが接してできる境界線が前記界面の稜線となるように、前記格子側面部と前記格子曲面部とが交互に並んで構成され、平坦な面を有する複数の前記格子側面部は、入射する前記光の光軸を含む断面において傾きが互いに異なるものを含み、入射する前記光の光線の方向が、前記格子側面部の傾斜方向と略一致する回折光学素子を提供する。

[0013] また、隣り合う前記稜線について、前記光軸と直交する方向の間隔をピッチ P 、前記ピッチ P の間に位置する前記格子側面部の高さを h 、前記光軸と前記ピッチ P の間に位置する前記格子側面部とがなす角度を α とすると、 $h \leq P / \sin \alpha$ 、を満足する上記の回折光学素子を提供する。

[0014] また、前記回折格子に入射する前記光は収束光であって、前記第2の媒質層、前記第1の媒質層の順に入射し、前記格子曲面部は、前記光軸から離れるにしたがって、その面内において前記第1の媒質層側に傾く上記の回折光学素子を提供する。

[0015] また、前記回折格子に入射する前記光は発散光であって、前記第2の媒質層、前記第1の媒質層の順に入射し、前記格子曲面部は、前記光軸から離れるにしたがって、その面内において前記第2の媒質層側に傾く上記の回折光

学素子を提供する。

[0016] また、前記回折格子に、前記第2の媒質層、前記第1の媒質層の順で入射する光の状態を ϕ_1 とし、前記回折格子に収束光が入射するとき、 $\phi_1 = +1$ であって、前記回折格子に発散光が入射するとき、 $\phi_1 = -1$ であるとし、前記第1の媒質層の屈折率を n_1 、前記第2の媒質層の屈折率を n_2 とし、さらに、前記回折格子で発生するパワーを ϕ_2 とし、負のパワーを与えるときは $\phi_2 < 0$ 、正のパワーを与えるときは $\phi_2 > 0$ とするとき、 $\phi_1 \times (n_2 - n_1) \times \phi_2 < 0$ 、を満足する上記の回折光学素子を提供する。

[0017] また、前記第2の媒質層は、前記界面と対向する側に曲面を有する上記の回折光学素子を提供する。

[0018] また、曲面を有する基材部と、前記基材部の前記曲面上に接合された前記第1の媒質部と、前記第1の媒質部に接合された前記第2の媒質部と、を有する上記の回折光学素子を提供する。

[0019] また、405nm波長帯である青色光、660nm波長帯である赤色光、780nm波長帯である赤外光の3種の光うち、少なくとも2つの光が入射し、前記3種の光のうち、少なくとも1つの光を回折する上記の回折光学素子を提供する。

[0020] また、前記青色光、前記赤色光、前記赤外光のうち、いずれか1つまたはいずれか2つの光に対する、前記第1の媒質層の屈折率と前記第2の媒質層の屈折率が略一致し、残りの光に対する、前記第1の媒質層の屈折率と前記第2の媒質層の屈折率が異なる上記の回折光学素子を提供する。

[0021] また、前記青色光に対する、前記第1の媒質層の屈折率と前記第2の媒質層の屈折率が略一致し、前記赤色光および前記赤外光に対する、前記第1の媒質層の屈折率と前記第2の媒質層の屈折率が異なる上記の回折光学素子を提供する。

[0022] また、光源と、前記光源から出射された光を、光ディスクに集光する上記の回折光学素子と、前記光ディスクで反射された光を検出する光検出器と、を備える光ヘッド装置を提供する。

[0023] さらに、前記光源は、405nm波長帯である青色光、660nm波長帯である赤色光、780nm波長帯である赤外光の3種の光のうち少なくとも2種の光を発射する上記の光ヘッド装置を提供する。

発明の効果

[0024] 本発明の回折光学素子は、曲面に回折格子を有し、回折を発生させる波長の光に対する回折効率が高くできるとともに、容易に製造できる回折格子の形状を有することで、所定の光学特性、とくに、高い回折効率特性が容易に得られる効果を得ることができる。また、本発明は、複数の波長の光を用いる光ヘッド装置において、回折光学素子を用いて、各光ディスクへの良好な集光特性を得ることで、安定した情報の記録・再生を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]本実施形態に係る回折光学素子の断面模式図(1)。

[図2]本実施形態に係る回折光学素子の回折格子の断面模式図。

[図3](a)回折格子を有さない接合レンズ。(b)回折格子を有するレンズ。(c)回折格子を有する回折光学素子。

[図4](a)負のパワーを発生する光学素子(1)。(b)負のパワーを発生する光学素子(2)。(c)負のパワーを発生する回折光学素子(1)。(d)負のパワーを発生する回折光学素子(2)。

[図5]本実施形態に係る回折光学素子の断面模式図(2)。

[図6]回折光学素子の回折格子の高さの条件を説明する模式図。

[図7](a)他の回折光学素子の断面模式図(1)。(b)他の回折光学素子の断面模式図(2)。(c)他の回折光学素子の断面模式図(3)。(d)他の回折光学素子の断面模式図(4)。

[図8]本実施形態に係る回折光学素子および入射する光の集光性を示す模式図。

[図9]本実施形態に係る光ヘッド装置の構成を示す模式図。

[図10]比較例となる回折光学素子における回折格子の模式図。

[図11]本実施例の回折光学素子の断面図。

[図12] (a) 複合光学素子の製造工程の一部を示す模式図。(b) 従来の複合光学素子の構成を示す模式図。

発明を実施するための形態

[0026] (回折光学素子の実施形態)

図1は、本実施形態に係る回折光学素子の構成例を示す模式図である。図1に示す回折光学素子10は、曲面を有する基材部13の表面に第1の媒質層11が接合され、第1の媒質層11の表面に第2の媒質層12が接合されており、一体化された構成となっている。なお、第1の媒質層11と第2の媒質層12との界面によって回折格子形状をなすが、これに限らない。例えば、基材部13と第1の媒質層11とが同一の材料であってもよく、この場合、基材部13は、その表面に、図1に示す第1の媒質層11の凹凸があるものとして考えることができる。また、この他に、第2の媒質層12の表面に、図示しない他の材料が積層される構成であってもよい。さらに、第2の媒質層12の表面、基材部13と第1の媒質層11との界面、基材部13の(第1の媒質層11側に対向する)表面に、回折格子や位相段差等の凹凸を有する構成であってもよい。以降、本実施形態では、まず、図1の回折光学素子10の構成に基づき説明し、とくに、第1の媒質層11と第2の媒質層12とを合わせた部分を回折格子として説明する。

[0027] 基材部13は、ガラスやプラスチック等の材料を用いることができ、また、基材部13そのものがレンズとしての機能を発生する単レンズであってもよく、研磨やプレス成形によって形成される。第1の媒質層11、第2の媒質層12は、後述する屈折率の関係を満たすものであれば、樹脂を用いたり、ガラス等の無機材料を切削、研削、プレス等によって加工したものを用いたりすることができる。

[0028] また、図1は、回折光学素子10に、特定の波長の光が入射するときの様子も示す。この光は、回折光学素子10に発散光で入射するとともに、回折格子で回折する対象の波長の光であるものとし、図1は、その光の一部の光線として、光線14a、光線14b、光線14cそして光線14dの順に進

行する様子を示したものである。なお、図1の一点鎖線は、回折光学素子10の光軸15を表す。まず、光線14aは、第2の媒質層12の光入射側の表面（空気との界面）で屈折し、進行方向が変えられて光線14bとなるが、このとき、光線14bは、収束光となる。なお、光が進行するにしたがって光軸15から離れていく光を発散光、光が進行するにしたがって光軸15に向かう光を収束光として、それぞれ定義する。また、光の進行方向が光軸15と平行となる光は平行光とする。

[0029] 次に、収束光である光線14bが回折格子に入射すると、回折格子により回折されることでパワー成分が付加される。なお、図1では、具体的に、凹レンズの作用を与えるような負のパワーが付加される様子を示すが、これに限らず、回折格子部は、凸レンズの作用を与える正のパワーを付加するものであってもよい。そして、第1の媒質層11と基材部13との界面で屈折し、進行方向が変えられて光線14cとなり、さらに、基材部13の光出射側の表面（空気との界面）で屈折し、進行方向が変えられて光線14dとなって出射する。なお、第1の媒質層11の材料と基材部13の材料が同一のものであれば、この界面で屈折は発生しない。

[0030] 図2は、図1において、光線14aから光線14dに至る光路の近傍における回折格子の構造を拡大して示した模式図であり、図2に基づき、回折格子の構造および回折格子の近傍を透過する光線の様子について詳細に説明する。まず、回折格子は、第1の媒質層11と第2の媒質層12の界面によって形成されるが、図2の断面図において、第2の媒質層12側に突出する任意の頂点を頂点Aとすると、頂点Aは、回折格子の稜線の一部に含まれる。次に、図2において、頂点Aを含む稜線と隣り合う2つの稜線を考えると、第1の媒質層11側に突出する頂点B₁を含む稜線と、第1の媒質層11側に突出する頂点B₂を含む稜線と、がそれに該当する。そして、頂点Aを含む稜線は、2種類の界面に分けて考えたとき、後述する、格子側面部21と格子曲面部22とが接してできる境界と考えることもできる。つまり、格子側面部21は、頂点Aを含む稜線と頂点B₁を含む稜線と、に挟まれた回折格子の

界面に相当し、格子曲面部 2 2 は、頂点 A を含む稜線と頂点 B₂ を含む稜線と、に挟まれた回折格子の界面に相当する。このとき、回折格子をなす界面は、格子側面部 2 1 と格子曲面部 2 2 とが交互に並んでなるものと考えることができる。

[0031] ここで、格子側面部 2 1 は、図 2 における断面図では直線によって表され、また、空間的には、例えば、ある頂点を有する円錐の側面の一部の面に相当する形状を有する。一方、格子曲面部 2 2 は、図 2 における断面図では曲線によって表され、また、空間的には、ある非球面、球面、円錐等の一部の面に相当する形状を有する。なお、格子側面部 2 1 および格子曲面部 2 2 は、例えば、図 1 の光軸 1 5 を中心として回転対称性を有する形状であってもよいが、これに限らず、回転対称性を有さない形状であってもよい。さらに、格子側面部 2 1 は、一部に階段状の段差を有してもよく、また、格子曲面部 2 2 も、階段状に近似されるような形状であってもよい。なお、回折格子の界面がフレネルレンズ形状であるとき、その中心は格子曲面部であり、周辺部に向けて格子側面部と格子曲面部とが交互に配置される。

[0032] また、回折格子は、第 1 の媒質層 1 1 と第 2 の媒質層 1 2 との界面の一部に形成されるものであってもよく、これらの界面の全面に形成されていてもよい。さらには、光軸を中心とする中心部と、それ以外の周辺部と、に分けたとき、回折格子が中心部のみに形成されていたり、周辺部のみに形成されていたりしてもよい。また、回折格子を形成するための金型を作製する際に切削を用いる場合、図 2 において、例えば、頂点 B₁ から頂点 A、そして頂点 B₂ の順に結んでできる、回折格子の先端部の角度が小さくなると、切削工具が破損しやすくなる。そのため、回折格子の先端部がなす角度は 15° 以上であればよく、20° 以上であればより好ましい。

[0033] 次に、図 2 の断面図に基づき、格子側面部 2 1 と格子曲面部 2 2 の傾斜について説明する。まず、光軸 1 5 と回折格子に入射する光線 1 4 b の進行方向と、がなす角度を θ_1 とし、光軸 1 5 と格子側面部 2 1 の直線方向と、がなす角度を θ_2 とすると、角度 θ_1 と角度 θ_2 とが、略一致するように、格子側面

部 2 1 の形状が決められている。ここで、回折光学素子 1 0 に波長が異なる複数の光が入射する場合や、光線 1 4 a とは異なる入射角度で光が入射する場合は、角度 θ_1 が一つの値に決まらないので、全ての条件において、角度 θ_1 と角度 θ_2 とを完全に一致させることはできないが、この場合も含め、特定の角度範囲内にこれらの光が入射するように考えるとよい。このとき、 θ_1 と θ_2 とが、略一致するとは、格子側面部 2 1 の角度 θ_2 [°] と、回折格子に入射する光の入射角度 θ_1 [°] との関係が、 $\theta_2 - 5^\circ \leq \theta_1 \leq \theta_2 + 5^\circ$ の範囲となるように与えるとよく、 $\theta_2 - 3^\circ \leq \theta_1 \leq \theta_2 + 3^\circ$ の範囲であれば好ましい。なお、回折光学素子 1 0 の回折格子は、光軸から半径方向に測って、2 つ隣の稜線の間隔をピッチ P とし、格子側面部の高さを h としてこの値を回折格子の高さとする。また、ピッチ P の値は、一般的に半径方向の位置によって異なる。

[0034] また、回折光学素子 1 0 を、例えば、光ヘッド装置用の対物レンズとして適用させる場合、対物レンズへ入射する光の入射面となる曲面の傾斜が大きい場合がある。とくに、NA が大きい光、例えば、BD 用の 4 0 5 nm の光が入射する対物レンズとして適用させる場合、周辺部の入射面は 4 5° 以上傾斜するので、回折格子に入射する光線の角度の変化が大きい。そのため、格子側面部の傾斜方向を考慮せずに、格子側面部の傾斜方向が入射する光線の方向と略一致しない場合は、回折効率の損失を引き起こす。とくに、傾斜が大きい周辺部で回折効率の損失が大きくなると、実質的な NA が小さくなる場合があるので、前述のように、角度 θ_1 と角度 θ_2 とが、略一致するように、格子側面部 2 1 の形状が決められているとよい。

[0035] 次に、図 3 (a)、図 3 (b) および図 3 (c) に基づき、回折光学素子の回折格子の設計について説明する。まず、図 3 (a) は、互いに異なる材料からなる、媒質 3 1 a と媒質 3 2 a と、が接合してなるレンズであり、光の入射面（例えば、媒質 3 2 a 側）、光の出射面（例えば、媒質 3 1 a 側）はいずれも平面の場合を示したものである。このようなレンズと同等の光学作用を与える回折格子の形状は、媒質 3 1 a と媒質 3 2 a とで生じる光路長

差が、入射する光の波長 λ の整数倍と一致する面34a、面34b、面34c、面34dの集合を考える。なお、図3(a)は、基準面となる面34aは、光路長差が0の面に相当し、面34b、面34cおよび面34dは、基準面より光路長差がそれぞれ、 λ 、 2λ および 3λ となる面を例について示した。

[0036] ここで、面34bから面34cに至るまでに存在する界面が、(基準)面34aから面34bに至るまでに存在するようにシフトさせる。そして、面34cから面34dに至るまでに存在する界面も、同じく、(基準)面34aから面34bに至るまでに存在するようにシフトする。図3(b)は、図3(a)に基づき、(基準)面34aから面34bに至るまでに界面を有するように設計したレンズの例であり、媒質31bと媒質32bが接合されるが、基準面34aより光路長差 λ 以内(面34bまで)に界面が存在し、この界面によって回折格子を与えることができる。なお、光路長差は、 $0 \sim \lambda$ の範囲となる場合に限らず、 $0 \sim 2\lambda$ 、 $0 \sim 3\lambda$ 等の範囲で調整してもよい。

[0037] そして、図3(c)は、基材部33の表面に第1の媒質層31cを有し、さらに、第1の媒質層31cの表面に第2の媒質層32cを有する、本実施形態に係る回折光学素子を示すものであるが、このときの回折格子の形状についても、図3(a)、図3(b)の手順に基づき、設計することができる。なお、図3(c)は、基材部33と第1の媒質層31cとが同一の材料である場合について図示したものであるが、これらが異なる材料からなる場合でも、同じ手法で設計することができる。

[0038] ここで、図3(c)の場合は、光が入射する面が曲面であるので、基準面35aに対して発生させたい光路長差から計算した面36を与え、(基準)面35aから λ の光路長差を有する面35b、(基準)面35aから 2λ の光路長差を有する面35cを与える。そして、面35bから面35cに至るまでに存在する、面36の界面が、(基準)面35aから面35bに至るまでに存在するようにシフトさせる。つまり、図3(a)のように入射面が平

面となる光学素子と同様に、第1の媒質層31cと第2の媒質層32cとの間で発生させる光路長差と、基準面と入射する波長 λ の光の光路長差が λ の整数倍と一致する面を、面35a、面35b、面35cとして回折格子の形状を決めることができる。なお、この場合、入射する光は収束光であるので、面35bの形状と面35cの形状とは異なる。この場合、回折格子は、回折光学素子に入射する光のうち、各位置の光線の方角と、回折格子の高さ方向とが、略一致するように設計するとよい。なお、回折格子に入射する各光線の方角は、光線追跡等により求めることができる。

[0039] 次に、第1の媒質層11を構成する材料の屈折率と第2の媒質層12を構成する材料の屈折率との関係について説明する。ここでは、入射する光に対して負のパワーを発生させる光学素子について、図4(a)～図4(d)の光学素子40a～40dに基づいて説明するが、光はいずれも、各光学素子の左側から入射して右方向に進行するものとする。ここで、2つの媒質が接合されてなる界面が曲面である場合、負のパワーを発生させる光学素子の構成としては、図4(a)の光学素子40a、図4(b)の光学素子40bが例示できる。

[0040] 具体的に、図4(a)の光学素子40aは、第1の光学部41aが凸面を有し、第2の光学部42aに接合されるが、ここで、第1の光学部41aの屈折率を $n(41a)$ 、第2の光学部42aの屈折率を $n(42a)$ とすると、 $n(42a) > n(41a)$ の関係を有するとよい。また、同様に、入射する光に対して負のパワーを発生させる光学素子として、図4(b)の光学素子40bは、第2の光学部42bが凸面を有し、第1の光学部41bに接合される構成が考えられる。ここで、第2の光学部42bの屈折率を $n(42b)$ 、第1の光学部41bの屈折率を $n(41b)$ とすると、 $n(42b) < n(41b)$ の関係を有するとよい。

[0041] このように、入射する光に対して負のパワーを発生させる光学素子を、回折格子を有する回折光学素子として示したのが、図4(c)の回折光学素子40c、図4(d)の回折光学素子40dである。まず、図4(c)の回折

光学素子40cは、基材部43cの表面に、第1の媒質層41cと第2の媒質層42cを有し、第1の媒質層41cと第2の媒質層42cとの界面によって回折格子形状をなす。そして、図4(d)の回折光学素子40dは、基材部43dの表面に、第1の媒質層41dと第2の媒質層42dを有し、第1の媒質層41dと第2の媒質層42dとの界面によって回折格子形状をなす。また、回折光学素子40c、40dは、いずれも、回折格子へ入射する光が収束光である場合について示したものである。

[0042] ここで、回折光学素子40cにおいて、第1の媒質層41cの屈折率を $n(41c)$ 、第2の媒質層42cの屈折率を $n(42c)$ とすると、 $n(42c) > n(41c)$ の関係を有するとよい。また、回折光学素子40dにおいて、第1の媒質層41dの屈折率を $n(41d)$ 、第2の媒質層42dの屈折率を $n(42d)$ とすると、 $n(42d) < n(41d)$ の関係を有するとよい。また、図4(c)の回折光学素子40c、図4(d)の回折光学素子40dは、模式的な断面図を示したものであるが、それぞれの回折格子の断面形状の典型的な違いを示したものである。つまり、回折光学素子40cは、第1の媒質層41cを金型等により加工する場合に離型に適する回折格子の形状を有するのに対し、回折光学素子40dは、第1の媒質層41dの突出している部分が、金型等により加工する場合に離型に適さない。

[0043] この場合、収束光が回折格子に入射する回折光学素子としては、回折光学素子40cが、前述の回折光学素子10に相当するものであるが、回折格子の適切な形状は、以下のように考えることができる。まず、回折光学素子40cにおいて、回折格子の稜線を考える。なお、ここでいう稜線は、第1の媒質層41cが、第2の媒質層42c側へ突出した方の頂点を含む方の稜線について考える。そして、この稜線は、例えば、光軸を中心とした円周に相当するが、前述のように、隣り合う格子曲面部と格子側面部との境界によってできる線ともいえる。ここで、稜線と、稜線に接する格子曲面部と、を考えたとき、この稜線を基準に、この格子曲面部が光軸から離れるにしたがって、格子曲面部が第1の媒質層41c側へ傾くような形状とするとよい。言

い換えると、格子曲面部は、曲面を有するので、1つの格子曲面部内において複数の接線を引くことができるが、光軸側から周辺側に向けて引いたこの接線の傾きが、光軸から離れるにしたがって第1の媒質層41cへ傾くような形状となっている。

[0044] 一方、図4(d)の回折光学素子40dの回折格子の場合、同じように稜線と、稜線に接する格子曲面部と、を考えたとき、格子曲面部は、光軸から離れるにしたがって第2の媒質層42d側へ傾くような形状となっている。言い換えると、格子曲面部は、曲面を有するので、1つの格子曲面部内において複数の接線を引くことができるが、光軸側から周辺側に向けて引いたこの接線の傾きが、光軸から離れるにしたがって第2の媒質層42dへ傾くような形状となっている。ところが、このような接線の傾きを有する回折格子は、前述のように金型等により加工する場合に離型に適さない場合があるので、図4(c)の回折光学素子40cの回折格子について説明した傾き（接線）を有することが好ましい。

[0045] なお、これまで、回折格子は負のパワーを発生させるものとして説明したが、これに限らず、正のパワーを発生させるものであってもよく、このとき、例えば、図4(c)の回折光学素子40cにおいて、 $n(42c) < n(41c)$ のような屈折率の関係を有するとよい。また、回折格子で正のパワーを発生させる回折光学素子についても、図4(c)の回折光学素子40cのような回折格子の形状を有するものが好ましい。

[0046] また、これまで、回折光学素子において、回折格子に収束光が入射する場合について説明したが、回折格子に発散光が入射するものであってもよい。図5は、本実施形態に係る回折光学素子の他の構成例を示す模式図であって、回折の対象となる波長の光が発散光として回折格子に入射する様子を示したものである。図5に示す回折光学素子50は、曲面を有する基材部53の表面に第1の媒質層51が接合され、第1の媒質層51の表面に第2の媒質層52が接合されており、一体化された構成となっている。そして、第1の媒質層51と第2の媒質層52との界面によって回折格子形状をなし、とく

に、第1の媒質層51と第2の媒質層52とを合わせた部分を回折格子とする。

[0047] また、図5は、さらに、回折光学素子50を特定の波長の光が透過するとき、その光の一部の光線の軌跡を光線54として示したものである。回折光学素子50に発散光が入射すると、第2の媒質層52の光入射側の表面（空気との界面）で屈折し、進行方向が変えられるが、このとき、発散光として回折格子に入射する。この場合、回折格子の高さ方向、つまり、回折格子の格子側面部の面方向に沿って、光線54が進行するように回折格子の形状を与えるとよい。また、このように回折格子に発散光が入射する場合において、稜線と、稜線に接する格子曲面部と、を考えたとき、稜線を基準に、この格子曲面部が光軸55から離れるにしたがって、格子曲面部が第2の媒質層52側へ傾くような形状とするとよい。

[0048] また、これらの屈折率について、第1の媒質層51の屈折率を $n(51)$ 、第2の媒質層52の屈折率を $n(52)$ とする。このとき、回折格子で正のパワーを発生させる場合、 $n(52) > n(51)$ の関係とし、また、回折格子で負のパワーを発生させる場合、 $n(52) < n(51)$ の関係を満たすように設計するとよい。

[0049] ここで、回折光学素子の回折格子に入射する光の発散状態または収束状態、回折格子で回折させる光のパワー、回折格子を構成する2つの媒質（材料）の屈折率の関係に基づき、本実施形態に係る回折光学素子10、50に与えるべき条件について考える。まず、回折格子に入射する光の状態を ϕ_1 とし、収束光が入射する場合、 $\phi_1 = -1$ 、発散光が入射する場合、 $\phi_1 = +1$ とする。次に、回折格子を構成する2つの媒質のうち、光の入射側の媒質の屈折率を n_2 、光の出射側の媒質の屈折率を n_1 とする。例えば、回折光学素子10において、 n_2 は、第2の媒質層12の屈折率、 n_1 は、第1の媒質層11の屈折率に相当する。さらに、対象となる波長の光に対して、回折格子で発生するパワーを ϕ_2 とし、負のパワーを与えるときは $\phi_2 < 0$ 、正のパワーを与えるときは $\phi_2 > 0$ とする。このとき、本実施形態に係る回折光学素子は

、

$$\phi_1 \times (n_2 - n_1) \times \phi_2 < 0 \quad \dots \quad (1)$$

を満たすようにするとよい。

[0050] 次に、回折光学素子における回折格子の形状の条件として、回折格子の高さの上限について、図6を用いて説明する。図6は、回折光学素子10の回折格子の構造について拡大して示した模式図であるが、とくに、この回折格子の高さの上限を説明するために、回折格子形状を変形させて示した例である。前述のように、第1の媒質層11を形成する場合に金型等で離型させるが、離型する方向を光軸方向に略等しくする場合、例えば、金型から引っ掛かりがなく離型できるような適切な凹凸形状とすることが好ましい。そのため、回折格子の凹凸の高さが高すぎることによって、離型に適さない形状とならないための条件を考える。

[0051] まず、(図1における)光軸15を基準に、格子側面部22となす角度を α とする。そして、前述のように、光軸から半径方向に測って、2つ隣の頂点の間隔をピッチPとするとき、回折格子の高さhは、

$$h \leq P / \sin \alpha \quad \dots \quad (2)$$

を満たすとよい。また、式(2)において、等式となるときの高さhは、図6における最大高さ h_{max} に相当する。なお、ピッチPは、回折格子の位置によりその値が異なるので、その位置に合わせて式(2)を満たすように回折格子の高さhを設定するとよい。

[0052] また、これまで、回折光学素子10のように基材部13と、第1の媒質層11、第2の媒質層12による構成について説明したが、回折光学素子としてはこれに限らない。図7(a)～図7(d)は、他の回折光学素子の構成として、回折光学素子70a～70dを示したものであるが、このような構成であってもよい。まず、回折光学素子70aは、曲面を有する基材部73a上に、第1の媒質層71aを有し、第1の媒質層71aの上に第2の媒質層72a、さらに第2の媒質層72aの上に第3の媒質層74aを有するものである。

[0053] また、回折光学素子 70b は、平板となる基材部 73b 上に、第 1 の媒質層 71b を有し、第 1 の媒質層 71b の表面に第 2 の媒質層 72b、さらに第 2 の媒質層 72b の表面に曲面（屈折面）を有する第 3 の媒質層 74b を有するものであり、基材部 73b が曲面を有しないものであってもよい。また、回折光学素子 70c は、基材部 73c が、曲面と、曲面と対向する側に平面を有し、基材部 73c の平面上に第 2 の媒質層 72c を有し、第 2 の媒質層 72c の表面に第 1 の媒質層 71c を有するものであり、基材部 73c が光の入射側に位置するものであってもよい。さらに、回折光学素子 70d は、凹レンズ面を有する基材部 73d の表面に、第 1 の媒質層 71d を有し、第 1 の媒質層 71d の表面に第 2 の媒質層 72d を有するものであり、第 2 の媒質層 72d の光入射側の表面（空気との界面）が凹状の曲面を有するものであってもよい。

[0054] 回折光学素子としては、図 7（a）～図 7（d）に示した構成以外にも様々な構成が考えられる。とくに、回折格子に入射する光の条件に合わせ、さらに、回折格子の形状について、加工容易性が得られるように、構成されるとよい。

[0055] 次に、波長が異なる複数の光を集光させる作用を有する回折光学素子について、とくに図 8 において、波長が異なる 3 つの光が入射する回折光学素子 80 を例にして説明する。図 8 は、回折光学素子 80 および、回折光学素子 80 に入射するそれぞれの光に対して、カバー層の厚さが異なる光ディスク 90 に集光する様子を示したものである。

尚、図 8 では、回折光学素子 80 を光ヘッド装置用の対物レンズとして適用させる場合を示しているが、これに限られない。例えば、カメラレンズとしても用いることができる。

回折光学素子 80 は、基材部 83 の表面に第 1 の媒質層 81 を有し、さらに第 1 の媒質層 81 上に第 2 の媒質層 82 が接合され、第 1 の媒質層 81 と第 2 の媒質層 82 の界面によって回折格子形状をなす。

[0056] ここで、入射する 3 つの光の波長を、波長 λ_1 、波長 λ_2 および波長 λ_3 （ λ

$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$) とし、波長 λ_1 の光 84 が、第 1 の光ディスク 91 の情報記録面に集光し、波長 λ_2 の光 85 が、第 2 の光ディスク 92 の情報記録面に集光し、波長 λ_3 の光 86 が、第 3 の光ディスク 93 の情報記録面に集光する。そして、波長 λ_1 の光 84、波長 λ_2 の光 85 および波長 λ_3 の光 86 は、第 2 の媒質層 82 の光入射側の表面（空気との界面）で屈折して、第 1 の媒質層 81 と第 2 の媒質層 82 によって形成される回折格子に入射する。このとき、少なくとも、回折格子で回折させる対象の光について、光線の進行方向と回折格子の格子側面部の方向と、を略一致させることで、回折効率を高くすることができ、高い光利用効率を得ることができる。

[0057] なお、第 1 の媒質層 81 および第 2 の媒質層 82 の各材料の屈折率の波長分散特性により、例えば、波長 λ_1 の光に対して、第 1 の媒質層 81 と第 2 の媒質層 82 との界面で屈折率差を略ゼロとして、波長選択的に回折を発生させないような材料を選択してもよい。この場合、波長 λ_1 の光線の方向は、回折格子の格子側面部の方向とは無関係に回折格子をほぼ直進透過するので、この場合、例えば、回折に関する波長 λ_2 の光線の方向および／または波長 λ_3 の光線の方向と、回折格子の格子側面部の方向と、を考慮して回折光学素子 80 を設計するとよい。

[0058] ここで、例えば、波長 λ_1 の光を、青色光となる BD 用の 405 nm 波長帯の光、波長 λ_2 の光を、赤色光である DVD 用の 660 nm 波長帯の光、波長 λ_3 の光を、赤外光である CD 用の 780 nm 波長帯の光と考える。この場合、405 nm 波長帯は紫外域に近い波長であるので、回折光学素子は、この波長の光によって劣化しない特性、つまり、耐光性が要求される。ここで、例えば、第 1 の媒質層 81 の材料と第 2 の媒質層 82 の材料について、405 nm 波長帯の光における屈折率を略一致させ、660 nm 波長帯の光、780 nm 波長帯の光における屈折率が異なる組み合わせとする。このとき、第 1 の媒質層 81 の材料と第 2 の媒質層 82 の材料とは、波長分散が大きい材料（以下、「高分散材料」という。）と波長分散が小さい材料（以下、「低分散材料」という。）との組み合わせによって、上記のような屈折率の関

係が得られる。なお、405 nm波長帯は、395～420 nmの範囲、660 nm波長帯は、640～680 nmの範囲、780 nm波長帯は、765～805 nmの範囲を示す。

[0059] ところが、一般に、高分散材料は、紫外域に光の吸収帯を有し、それによって波長分散が大きい場合が多い一方で、紫外域の光に対する耐光性が脆弱である場合が多い。また、このような高分散材料の耐光性は、その厚さに依存して劣化するので、例えば、BD用の405 nm波長帯の光を用いる場合、高分散材料からなる第1の媒質層81または第2の媒質層82は、薄い方が好ましい。ここで、回折格子が、660 nm波長帯の光に対して負のパワーを発生させる場合、上記の式(1)に基づくとともに、図4(c)の回折光学素子40cのように、容易に形成できる回折格子の形状を考えると、660 nm波長帯の光において、第1の媒質層81の材料の屈折率は、第2の媒質層82の材料の屈折率より低くしなければならない。この場合、405 nm波長帯の光に対する、第1の媒質層81の材料の屈折率と、第2の媒質層82の材料の屈折率とは略一致していることから、第1の媒質層81を高分散材料、第2の媒質層82を低分散材料とする組み合わせとなる。

[0060] ここで、例えば、基材部83と第1の媒質層81とが、同一の高分散材料で構成される場合、高分散材料の厚さが増すので、405 nm波長帯の光に対する耐光性が脆弱になる。そのため、基材部83の材料と第1の媒質層81の材料とは異なるものとし、とくに基材部83の材料は、前述したガラス、プラスチック等のように、高分散材料とは異なる材料とすることが好ましい。また、この場合、回折格子は、基材部83より光入射側(図8の左側)にあることで、回折光学素子80と光ディスク90との間の距離を保ち、これらの接触を避けることができるので好ましい。さらに、回折光学素子80が、基材部83、第1の媒質層81および第2の媒質層82によって構成される場合、基材部83が温度特性に優れた材料を選択でき、設計自由度が増すので好ましい。

[0061] なお、回折光学素子80は、波長が異なる3つの光が入射するものとした

が、波長が異なる2つの光が入射し、一方の波長の光に対してのみ回折させるものであってもよい。つまり、一方の波長の光に対して、第1の媒質層81の屈折率と第2の媒質層82の屈折率と、が略一致し、他方の波長の光に対して、第1の媒質層81の屈折率と第2の媒質層82の屈折率と、が異なるものであってもよい。また、略一致させる波長の光は、青色光とする場合に限らず、赤色光および／または赤外光であってもよい。

[0062] (光ヘッド装置の実施形態)

図9は、本実施形態に係る光ヘッド装置100の構成を示す模式図である。光ヘッド装置100は、405nm波長帯となる青色光を出射する光源101aと、660nm波長帯となる赤色光および780nm波長帯となる赤外光を出射する光源101bより、各波長帯の光が出射される。これらの光の光路中に、青色光を反射するとともに、赤色光および赤外光を透過するビームスプリッタ102と、第1の偏光方向の光を透過するとともに第1の偏光方向と直交する第2の偏光方向の光を反射する偏光ビームスプリッタ103と、コリメータレンズ104と、1/4波長板105と、対物レンズ106を有し、光ディスク107に集光される。また、光ヘッド装置100は、光ディスク107で反射された光を検出する、光検出器108を有する。

[0063] 次に、光ヘッド装置100の光学作用について、説明する。光源101aから発射された青色光は、ビームスプリッタ102で反射され、一方、光源101bから発射された赤色光および赤外光は、ビームスプリッタ102を透過する。そして、これら3種の光は、いずれも第1の偏光方向の光となって、偏光ビームスプリッタ103を透過し、コリメータレンズ104で発散状態が変えられ、1/4波長板105を透過する。そして、対物レンズ106に入射し、各波長の光に対応した光ディスク107の情報記録面に集光し、反射される。反射したこれらの光は、対物レンズ106および1/4波長板105を透過して、第2の偏光方向の光となってコリメータレンズ104を透過し、偏光ビームスプリッタ103で反射され、光検出器108に集光する。

[0064] また、光ヘッド装置 100 は、図示しないサーボ信号、記録信号および再生信号の検出装置を有している。また、光源 101a および／または光源 101b と偏光ビームスプリッタ 103 との間の光路中に、3 ビームを発生させる図示しない回折素子（グレーティング素子）を有してもよい。さらに、サーボ信号を得るための、ホログラム素子や、波長が異なる光について光軸を補正したり、光学倍率を変換するための光学素子を有したりしてもよい。また、光ヘッド装置 100 は、1 つの対物レンズ 106 で、3 種の光に対応した 3 種の光ディスクを記録・再生するものとしたが、例えば、405 nm 波長帯の光に対応する BD の記録・再生をする対物レンズと、660 nm 波長帯の光および 780 nm 波長帯の光に対応する DVD／CD の記録・再生をする対物レンズと、異なる光路中にそれぞれ配置されるものであってもよい。

[0065] ここで、対物レンズ 106 として、回折光学素子の実施形態で説明した、係る回折光学素子 10、50 等を用いることができる。上記の説明のように、対物レンズ 106 は 3 種の光が入射するものに限らず、1 種または 2 種の光が入射するものであってもよく、いずれも、本発明に係る回折光学素子を用いることができる。とくに、対物レンズ 106 として、本願発明に係る回折光学素子を用いることで、回折光学素子の回折格子に、回折させる波長の光の回折効率を高くすることができるとともに、回折格子として加工性の良い形状を有することから、高い精度での光学特性が得られ、光ディスク 107 へ高い精度で集光させることができる。

実施例

[0066] （回折光学素子の実施例）

回折光学素子の実施例として、図 1 に示す回折光学素子 10 の構成に基づき、具体的な設計例を説明する。まず、本実施例に係る回折光学素子は、基材部 13 として、ガラスを用い、第 1 の媒質層 11 および第 2 の媒質層 12 として、樹脂を用いる。また、回折光学素子 10 の各面は、式（3）に示す非球面形状を有する。式（3）において、 r は半径、 c は非球面中心部にお

ける曲率であり、 k はコーニック係数、 α_{2i} は、非球面形状を記述する $2i$ 次の項の係数である。

[0067] [数1]

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2 r^2}} + \sum \alpha_{2i} r^{2i} \quad \dots (3)$$

[0068] また、2つの樹脂の界面において、光軸を中心とした直径 $\phi 2.46 \text{ mm}$ の内側領域には回折格子が形成されているが、それより外側の領域（外側領域）では回折格子を有しない領域となっており、この領域の非球面係数は異なる値である。この回折格子によって生じる回折作用は、位相差関数 Φ によって表され、 M を回折次数、 A_{2i} は位相関数の $2i$ 次の係数として、位相差関数 Φ は、式（4）によって示される。

[0069] [数2]

$$\Phi = M \sum A_{2i} r^{2i} \quad \dots (4)$$

[0070] また、本実施例に係る回折光学素子は、第1の媒質層11および第2の媒質層12に相当する、2つの樹脂について、その波長分散特性より、表1に示すように、 405 nm 波長帯となる青色光に対して、屈折率は略一致している。即ち、回折格子は、青色光に対して0次回折効率（直進透過率）が最大となる。一方、 660 nm 波長帯となる赤色光および 780 nm 波長帯となる赤外光に対して、2つの樹脂間で屈折率が異なり、回折格子は、これらの波長の光に対して1次回折効率が最大となるように設計される。具体的に、本実施例に係る回折光学素子のレンズデータを、[表1]～[表4]に示す。ここで、回折によって生じるパワー Ψ は、入射する光の波長 λ として、

$$\Psi = -2 A_2 M \lambda \quad \dots (5)$$

で表すことができ、[表4]の位相関数の係数の値から、本実施例に係る回

折光学素子における回折格子は、赤色光および赤外光において負のパワーを与える。

[0071] [表1]

面	厚さ [mm]	各波長の屈折率		
		405 nm	660 nm	780 nm
物点	t_1	1		
第2の樹脂	0.036	1.6183	1.5925	1.5884
第1の樹脂	0.036	1.6183	1.5751	1.5686
ガラス	1.754	1.5977	1.5780	1.5744
光ディスク	t_2	1.6223	1.5796	1.5735

[0072] [表2]

	波長		
	405 nm	660 nm	780 nm
開口	3	2.44	1.99
t_1	∞	∞	41.35
t_2	0.0875	0.6	1.2

[0073] [表3]

	第2の 樹脂面	第1の樹脂面		ガラス 1面	ガラス 2面
		内側領域	外側領域		
$R (= 1/c)$	1.1690010	1.2083698	1.1690010	1.1771132	-4.5324293
k	-0.5115800	-0.6501777	-0.5115800	-0.6640229	-27.4297067
α_2	0	0	0	0	0
α_4	-0.0001363	0.0067863	-0.0001363	0.0199467	0.1407114
α_6	0.0036161	0.0065720	0.0036161	-0.0190724	-0.1259043
α_8	-0.0020067	0.0197515	-0.0020067	0.0451722	0.0526089
α_{10}	-0.0010330	-0.0361804	-0.0010330	-0.0468205	-0.0068957
α_{12}	0.0020924	0.0272055	0.0020924	0.0288437	-0.0007848
α_{14}	-0.0008427	-0.0092019	-0.0008427	-0.0092019	0
α_{16}	0.0000352	0.0011634	0.0000352	0.0011634	0

[0074]

[表4]

A_2	200.7097
A_4	-6.25916
A_6	-0.17358
A_8	-3.09323
A_{10}	0.731074

[0075] 上記に示すレンズパラメータを用いて作製される回折光学素子に、赤色光である波長660nmの光を入射し、この光の光線を追跡する。このとき、660nmの光線のうち、回折光学素子の光軸から最外周部に向けて、入射する角度がそれぞれ異なるが、回折格子の格子側面部の方向を、回折格子の各位置に入射する光の角度と等しい角度に設定する。表5は、具体的に、本実施例において、格子側面部の半径方向の位置と格子側面部の角度との関係を示したものである。なお、格子側面部の位置は、式(4)に示した、位相関数が 2π となる半径の値を計算することで求めたものである。

[0076]

[表5]

番号	半径[mm]	格子側面部 角度[°]	番号	半径[mm]	格子側面部 角度[°]
1	0.177	3.3	23	0.861	16.7
2	0.250	4.6	24	0.880	17.1
3	0.307	5.7	25	0.899	17.5
4	0.355	6.6	26	0.918	18.0
5	0.397	7.4	27	0.936	18.4
6	0.435	8.1	28	0.955	18.8
7	0.470	8.8	29	0.973	19.2
8	0.502	9.4	30	0.990	19.6
9	0.533	10.0	31	1.008	20.0
10	0.562	10.6	32	1.025	20.4
11	0.590	11.1	33	1.043	20.8
12	0.617	11.7	34	1.060	21.2
13	0.642	12.2	35	1.077	21.6
14	0.667	12.7	36	1.093	22.0
15	0.691	13.1	37	1.110	22.4
16	0.714	13.6	38	1.127	22.8
17	0.737	14.1	39	1.143	23.3
18	0.759	14.5	40	1.160	23.7
19	0.780	15.0	41	1.176	24.1
20	0.801	15.4	42	1.193	24.5
21	0.821	15.9	43	1.209	24.9
22	0.841	16.3			

[0077] このとき、最外周部における、第2の樹脂面の面法線方向は光軸に対して56.9°傾斜している。そして、第2の樹脂の屈折率より回折格子への入射角度を計算すると、光軸に対して25.2°をなす方向となる。また、最外周の回折格子（番号：43）の高さ h を38 μm 、最外周のピッチ P が16.3 μm とすると、入射角度（=24.9°）から計算される、最大高さ h_{max} 38.3 μm 以下となるので、第1の樹脂の加工が容易となる。そして、このように作製される回折光学素子について、外周部の回折格子における、赤色光の回折効率をRCWA法によって計算すると、約88%となる。なお、本実施例の回折光学素子は、格子側面部の高さ h を最大38 μm とし、基材部となるガラスの表面までの高さとした。

[0078] また、CD用の光の有効径に相当する、780nmの光の最外周部において、波長660nmの光の、回折格子への入射角度を計算すると、光軸に対

して 19.6° をなす方向となる。また、 780 nm の光の最外周部における、回折格子の高さ h を $38\text{ }\mu\text{m}$ 、この最外周のピッチ P を $17.6\text{ }\mu\text{m}$ 、格子側面部の方向を 27.2° とする。このとき、 780 nm の光の最外周部における、赤色光の回折効率を RCWA 法によって計算すると、約 83% となる。一方、赤外光である 780 nm の光は、 780 nm の光の最外周部において、回折格子への入射角度を計算すると、 28.2° であり、格子側面部の方向を 27.2° に近い値となる。そして、 780 nm の光の最外周部における、赤外光の回折効率を RCWA 法によって計算すると、約 83% となる。

[0079] また、図 11 は、本実施例における回折光学素子の断面の一部を示したものであり、図面の左端は光軸に相当し、原点（半径 = 0、高さ = 0）は、回折光学素子の第 2 の媒質層 12 に相当する第 2 の樹脂の曲面の頂点に相当する。図 11 より、本実施例の回折光学素子における回折格子について、とくに、第 1 の媒質層 11 に相当する第 1 の樹脂の凹凸の形状は、製造工程において、容易に離型できるものであることがわかる。

[0080] （比較例）

比較例では、回折光学素子における回折格子について、格子の高さがいずれも光軸方向と一致する構造のものを考える。図 10 は、本比較例の回折光学素子の回折格子部分を模式的に示したものであり、第 1 の樹脂 111 と第 2 の樹脂 112 とが接合された界面によってなる回折格子の高さ h が、いずれも光軸と平行する方向に与えられているものである。この場合、第 2 の樹脂面に入射する光線 114a が屈折して、光軸から角度 θ_1 で回折格子に入射する光線 114b となるが、この光線 114b の方向は、回折格子の高さの方向とは異なる。

[0081] ここで、本比較例に係る回折光学素子についても、実施例の [表 1] ~ [表 4] のレンズパラメータを用い、光軸と平行となる高さ h を $38\text{ }\mu\text{m}$ とし、最外周のピッチ P を $16.3\text{ }\mu\text{m}$ とする。そして、このように作製される回折光学素子について、外周部の回折格子における、赤色光の回折効率を R

CWA法によって計算すると、約3%となり、回折光が得られない。

産業上の利用可能性

[0082] 以上のように、本発明の回折光学素子は、曲面に回折格子を有し、回折を発生させる波長の光に対する回折効率が高くできるとともに、容易に製造できる回折格子の形状を有することで所定の光学特性が容易に得られる効果を得ることができる。また、本発明は、複数の波長の光を用いる光ヘッド装置において、回折光学素子を用いて、各光ディスクへの良好な集光特性を得ることで、安定した情報の記録・再生を得ることができる。

[0083] 本出願を詳細にまた特定の実施態様を参照して説明したが、本発明の精神と範囲を逸脱することなく様々な変更や修正を加えることができることは当業者にとって明らかである。

本出願は、2010年12月24日出願の日本特許出願（特願2010-288253）に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

符号の説明

[0084] 10、40c、40d、50、70a、70b、70c、70d、80

回折光学素子

11、41c、41d、51、71a、71b、71c、71d、81

第1の媒質層

12、42c、42d、52、72a、72b、72c、72d、82

第2の媒質層

13、43c、43d、53、73a、73b、73c、73d、83

基材部

14a、14b、14c、14d、54、114a、114b 光線

15、55 光軸

21 格子側面部

22 格子曲面部

40a、40b 光学素子

4 1 a、4 1 b 第1の光学部

4 2 a、4 2 b 第2の光学部

7 4 a、7 4 b 第3の媒質層

8 4 波長 λ_1 の光

8 5 波長 λ_2 の光

8 6 波長 λ_3 の光

9 0、1 0 7 光ディスク

9 1 第1の光ディスク

9 2 第2の光ディスク

9 3 第3の光ディスク

1 0 0 光ヘッド装置

1 0 1 a、1 0 1 b 光源

1 0 2 ビームスプリッタ

1 0 3 偏光ビームスプリッタ

1 0 4 コリメータレンズ

1 0 5 $1/4$ 波長板

1 0 6 対物レンズ

1 0 8 光検出器

1 1 1 第1の樹脂

1 1 2 第2の樹脂

2 0 1、2 1 1 第1光学部

2 0 2、2 1 2 第2光学部

2 0 3 金型

2 1 3 第3光学部

2 1 4 位相段差部

請求の範囲

- [請求項1] 入射する光の発散状態または収束状態を変化させる回折光学素子であって、
- 第1の媒質層と第2の媒質層とが接合された界面によって形成された回折格子を有し、
- 前記回折格子は、格子側面部と格子曲面部とが接してできる境界線が前記界面の稜線となるように、前記格子側面部と前記格子曲面部とが交互に並んで構成され、
- 平坦な面を有する複数の前記格子側面部は、入射する前記光の光軸を含む断面において傾きが互いに異なるものを含み、
- 入射する前記光の光線の方向が、前記格子側面部の傾斜方向と略一致する回折光学素子。
- [請求項2] 隣り合う前記稜線について、前記光軸と直交する方向の間隔をピッチ P 、前記ピッチ P の間に位置する前記格子側面部の高さを h 、前記光軸と前記ピッチ P の間に位置する前記格子側面部とがなす角度を α とするとき、 $h \leq P / \sin \alpha$ 、を満足する請求項1に記載の回折光学素子。
- [請求項3] 前記回折格子に入射する前記光は収束光であって、前記第2の媒質層、前記第1の媒質層の順に入射し、
- 前記格子曲面部は、前記光軸から離れるにしたがって、その面内において前記第1の媒質層側に傾く請求項1または請求項2に記載の回折光学素子。
- [請求項4] 前記回折格子に入射する前記光は発散光であって、前記第2の媒質層、前記第1の媒質層の順に入射し、
- 前記格子曲面部は、前記光軸から離れるにしたがって、その面内において前記第2の媒質層側に傾く請求項1または請求項2に記載の回折光学素子。
- [請求項5] 前記回折格子に、前記第2の媒質層、前記第1の媒質層の順で入射

する光の状態を ϕ_1 とし、前記回折格子に収束光が入射するとき、 $\phi_1 = +1$ であって、前記回折格子に発散光が入射するとき、 $\phi_1 = -1$ であるとし、

前記第1の媒質層の屈折率を n_1 、前記第2の媒質層の屈折率を n_2 とし、さらに、前記回折格子で発生するパワーを ϕ_2 とし、負のパワーを与えるときは $\phi_2 < 0$ 、正のパワーを与えるときは $\phi_2 > 0$ とするとき、

$\phi_1 \times (n_2 - n_1) \times \phi_2 < 0$ 、を満足する請求項1～4いずれか1項に記載の回折光学素子。

[請求項6] 前記第2の媒質層は、前記界面と対向する側に曲面を有する請求項1～5いずれか1項に記載の回折光学素子。

[請求項7] 曲面を有する基材部と、前記基材部の前記曲面上に接合された前記第1の媒質部と、前記第1の媒質部に接合された前記第2の媒質部と、を有する請求項1～6いずれか1項に記載の回折光学素子。

[請求項8] 405nm波長帯である青色光、660nm波長帯である赤色光、780nm波長帯である赤外光の3種の光うち、少なくとも2つの光が入射し、

前記3種の光のうち、少なくとも1つの光を回折する請求項1～7いずれか1項に記載の回折光学素子。

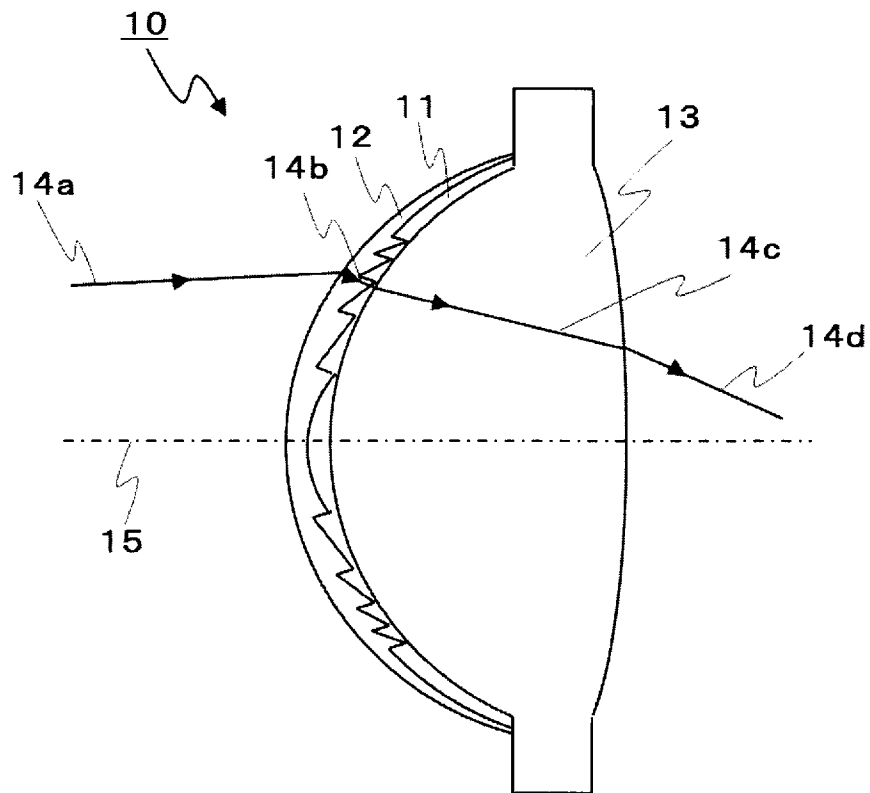
[請求項9] 前記青色光、前記赤色光、前記赤外光のうち、いずれか1つまたはいずれか2つの光に対する、前記第1の媒質層の屈折率と前記第2の媒質層の屈折率が略一致し、残りの光に対する、前記第1の媒質層の屈折率と前記第2の媒質層の屈折率が異なる請求項8に記載の回折光学素子。

[請求項10] 前記青色光に対する、前記第1の媒質層の屈折率と前記第2の媒質層の屈折率が略一致し、前記赤色光および前記赤外光に対する、前記第1の媒質層の屈折率と前記第2の媒質層の屈折率が異なる請求項9に記載の回折光学素子。

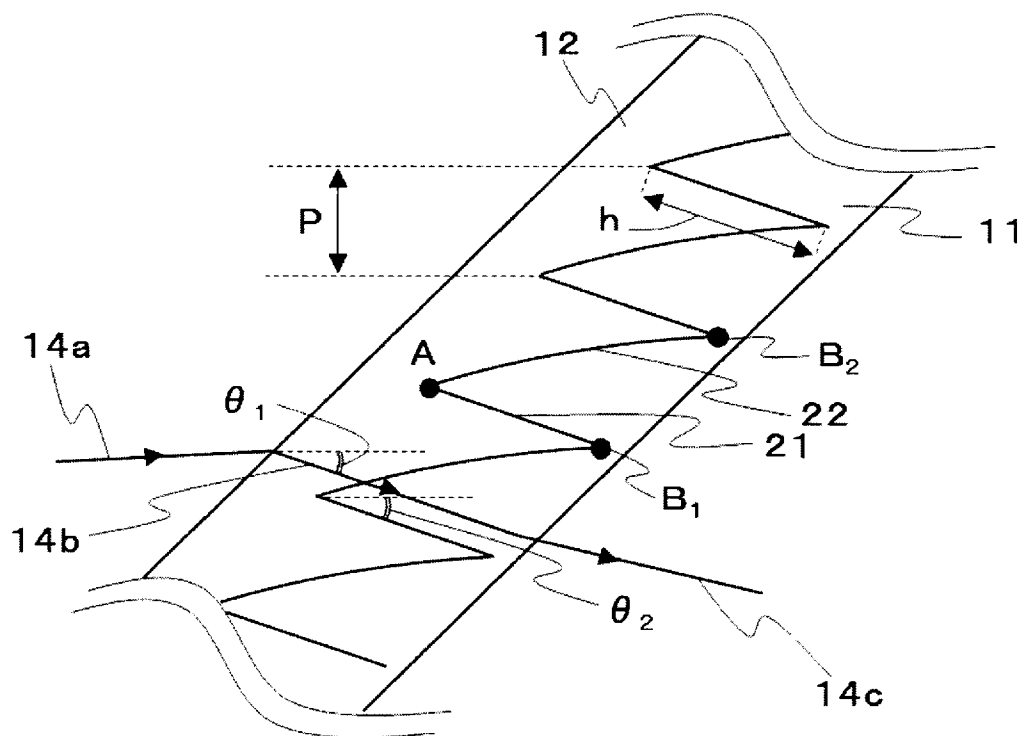
[請求項11] 光源と、前記光源から出射された光を、光ディスクに集光する請求項1～10いずれかの回折光学素子と、前記光ディスクで反射された光を検出する光検出器と、を備える光ヘッド装置。

[請求項12] 前記光源は、405nm波長帯である青色光、660nm波長帯である赤色光、780nm波長帯である赤外光の3種の光のうち少なくとも2種の光を発射する請求項11に記載の光ヘッド装置。

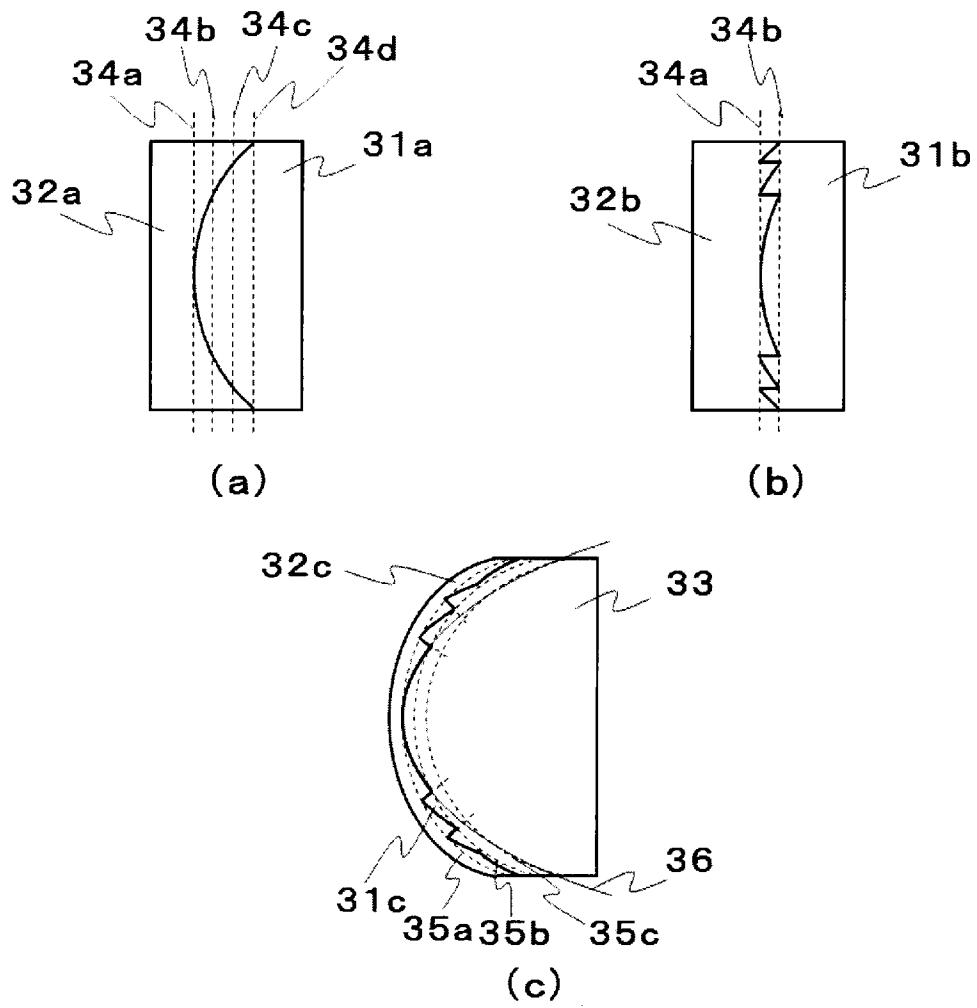
[図1]



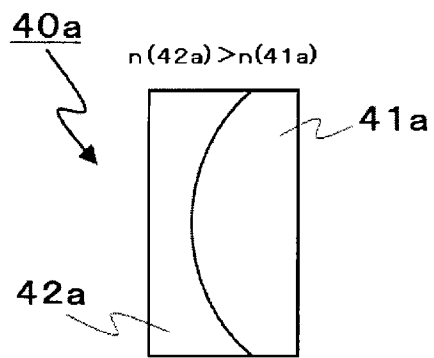
[図2]



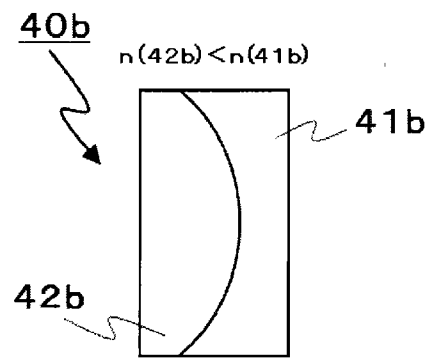
[図3]



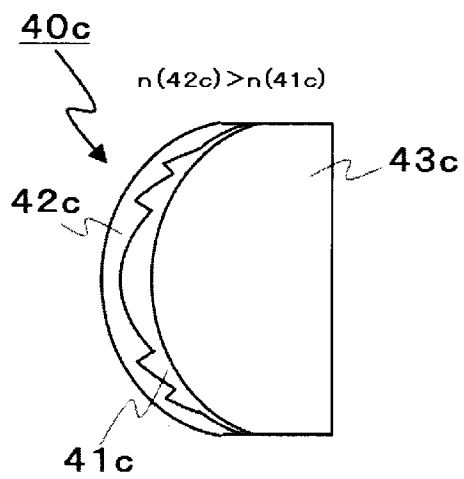
[図4]



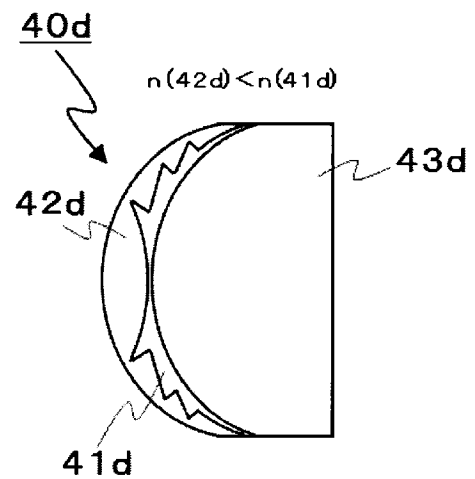
(a)



(b)

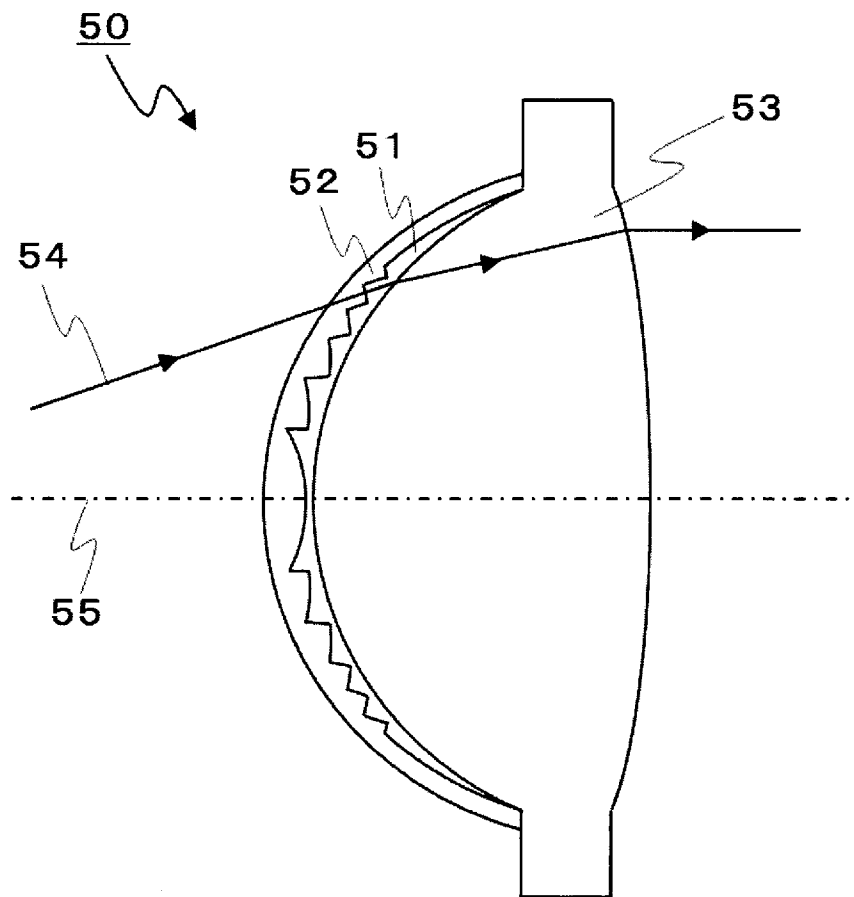


(c)

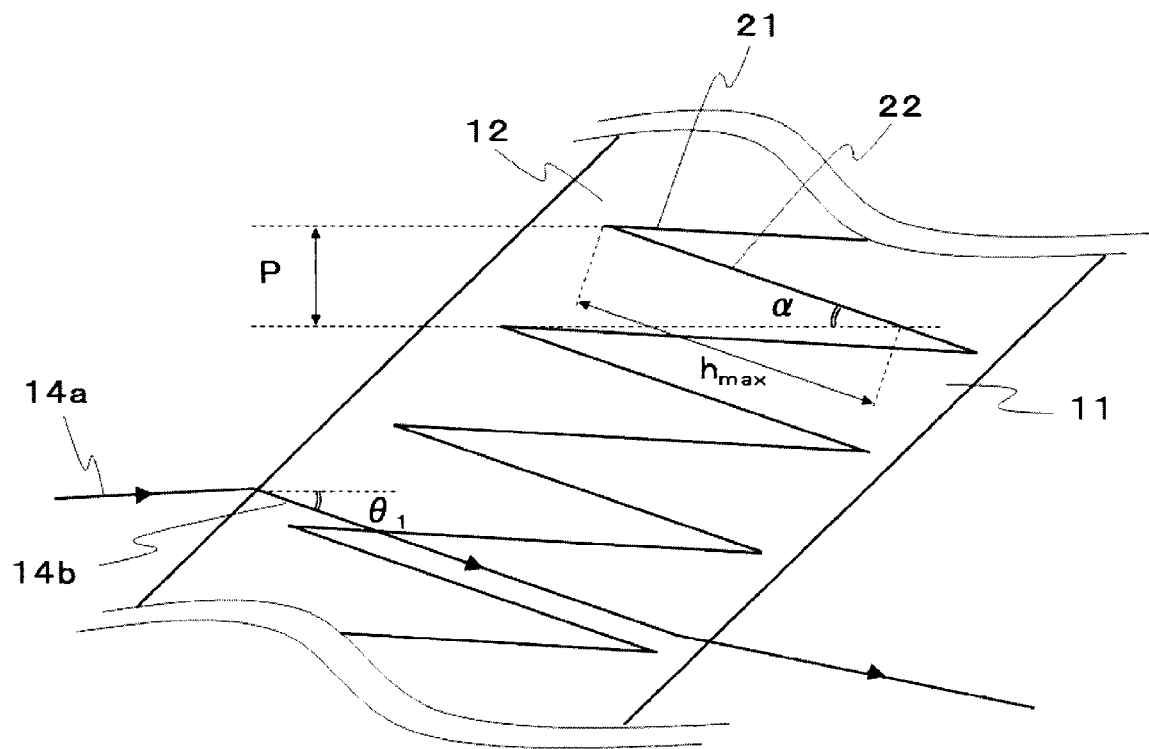


(d)

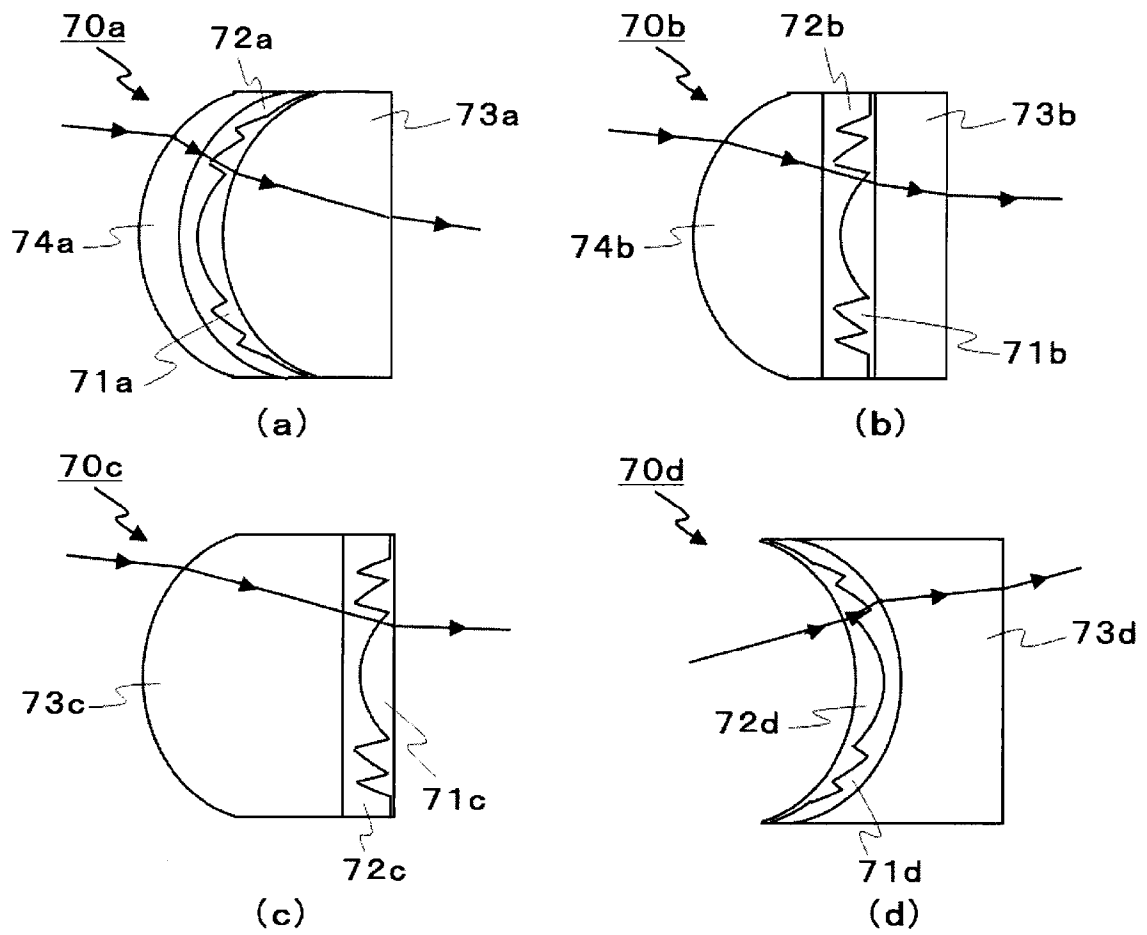
[図5]



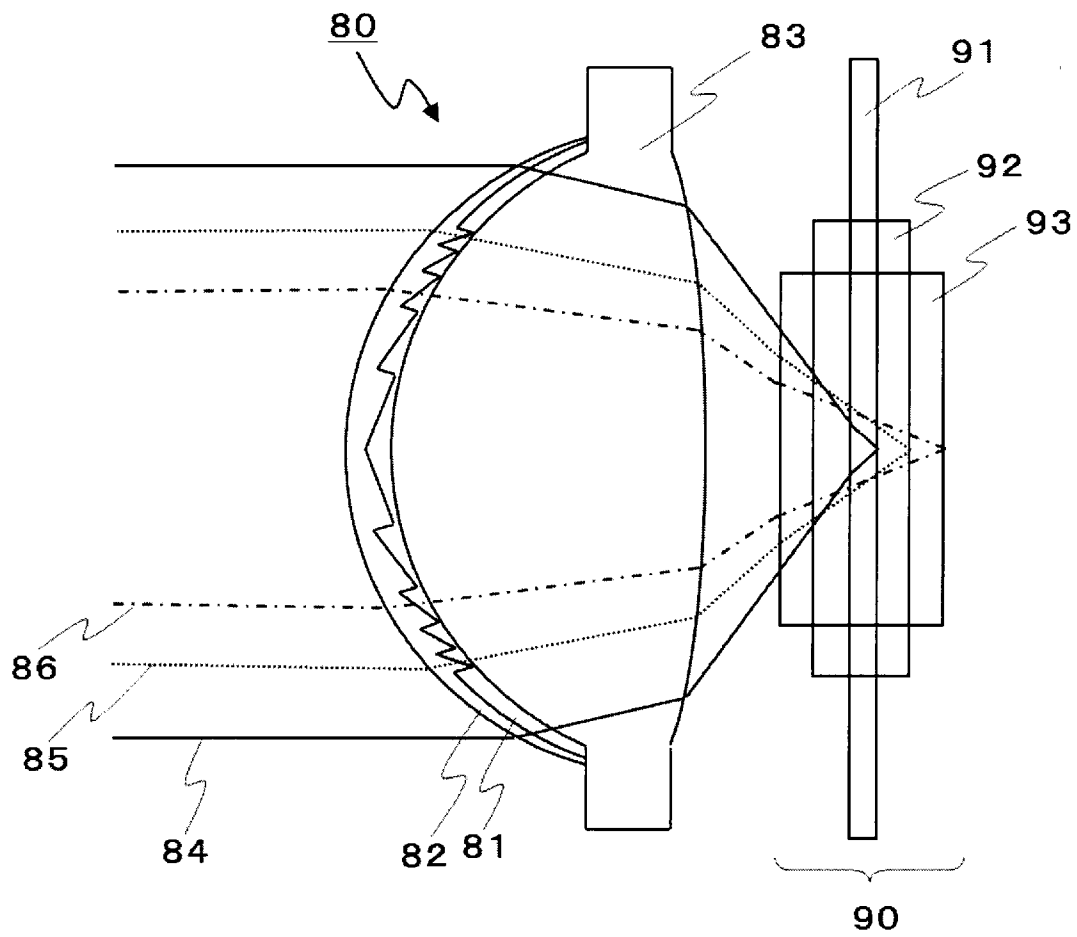
[図6]



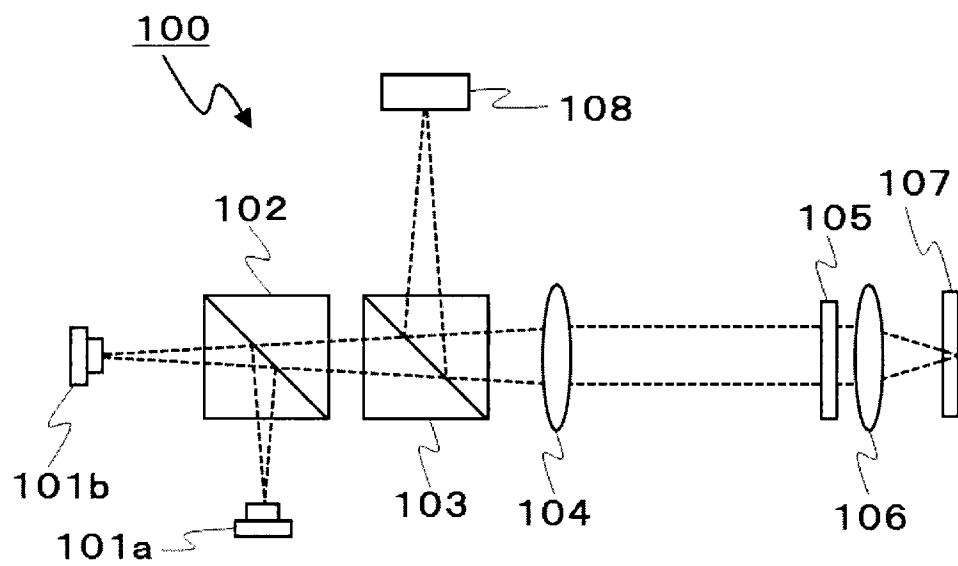
[図7]



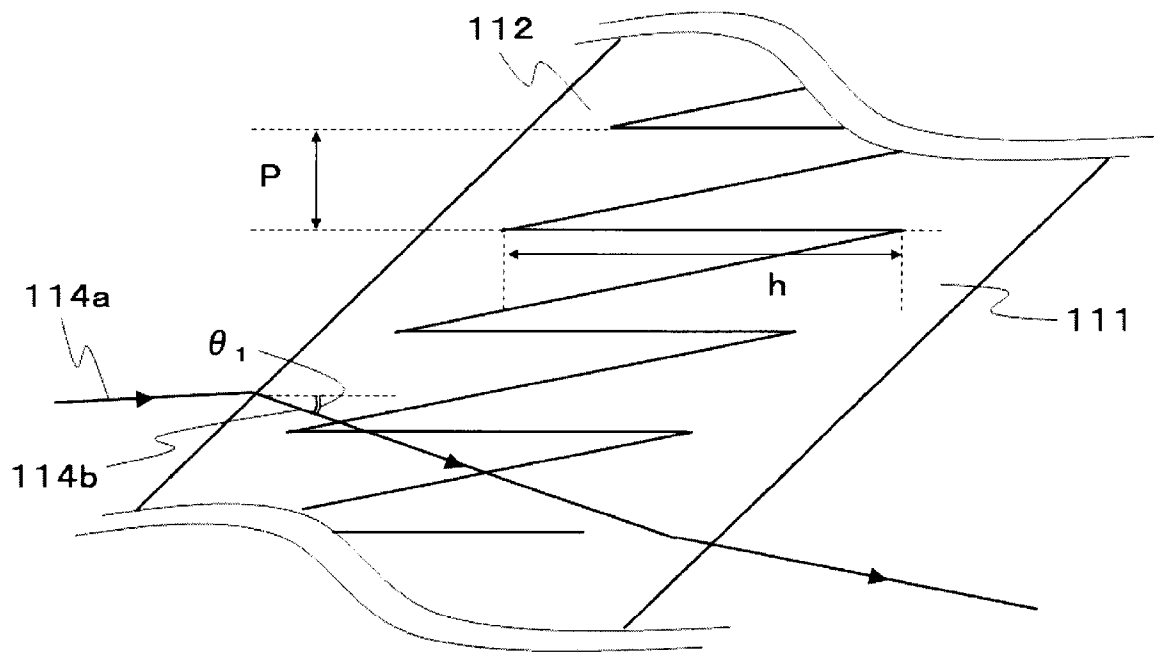
[図8]



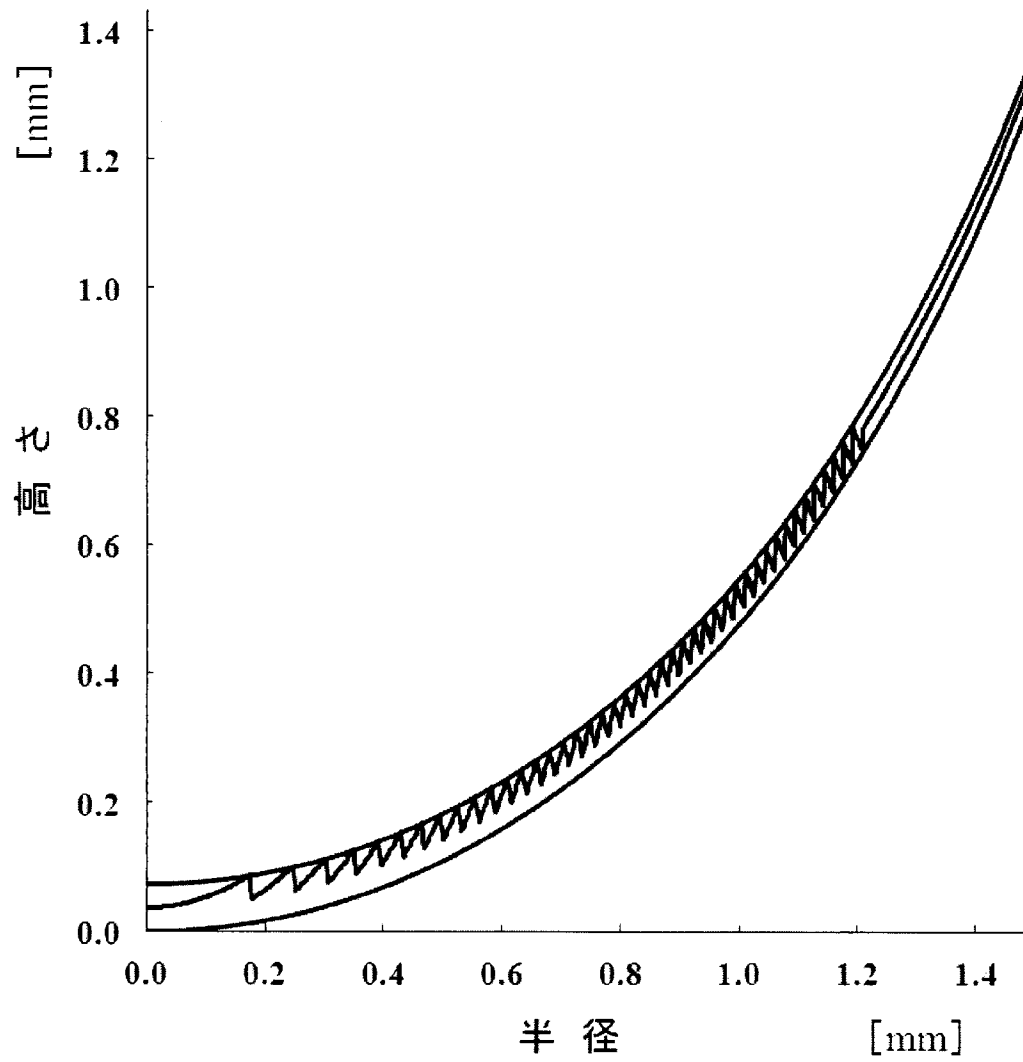
[図9]



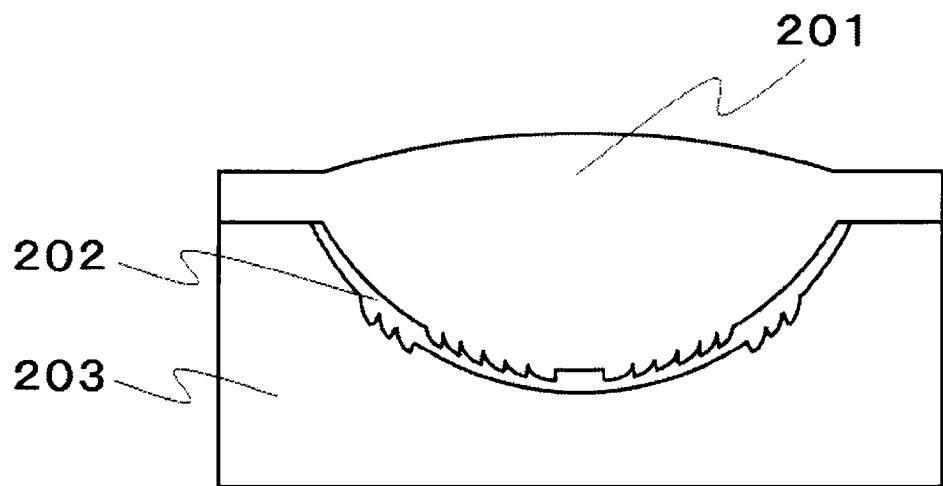
[図10]



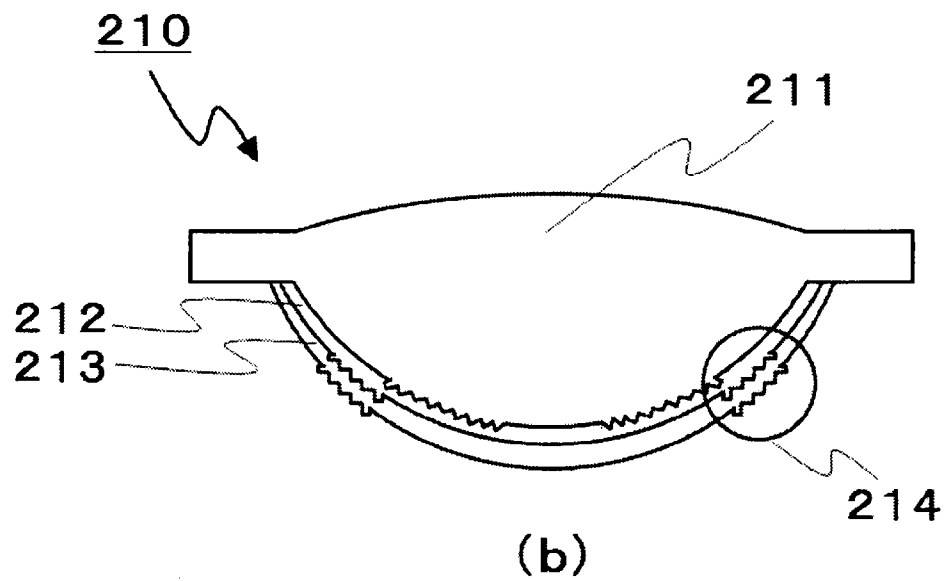
[図11]



[図12]



(a)



(b)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/079403

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G11B7/135(2012.01) i, G02B5/18(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, G02B5/18

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	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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.
X Y A	JP 2008-52787 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 06 March 2008 (06.03.2008), claims; paragraphs [0005], [0031], [0063] to [0117]; fig. 1, 2 & US 2008/0049587 A1 & CN 101131463 A	1, 6-8, 11, 12 2-5 9, 10
Y	JP 2002-107520 A (Canon Inc.), 10 April 2002 (10.04.2002), paragraphs [0012] to [0027]; fig. 2 to 7 & US 2002/0036827 A1 & EP 1193512 A2	1-5
Y	JP 10-186118 A (Canon Inc.), 14 July 1998 (14.07.1998), claims; paragraphs [0018], [0019]; fig. 1 & US 6008942 A	1

☒ 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
06 March, 2012 (06.03.12)

Date of mailing of the international search report
13 March, 2012 (13.03.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/079403

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 9-127321 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 16 May 1997 (16.05.1997), paragraphs [0009] to [0039]; fig. 10 & US 5847877 A & DE 19533591 A1	2-5
Y	JP 61-248001 A (Toshiba Corp.), 05 November 1986 (05.11.1986), page 3, upper right column, line 6 to lower left column, line 8; fig. 3 (Family: none)	5
A	JP 5-66370 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 19 March 1993 (19.03.1993), entire text; all drawings & US 5237452 A & EP 531926 A1 & DE 69227875 C	1-12

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(2012.01)i, G02B5/18(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, G02B5/18

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 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 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
X Y A	JP 2008-52787 A (松下電器産業株式会社) 2008.03.06, 特許請求の範囲、[0005][0031][0063]-[0117] 図1、2 & US 2008/0049587 A1 & CN 101131463 A	1, 6-8, 11, 12 2-5 9, 10
Y	JP 2002-107520 A (キヤノン株式会社) 2002.04.10, [0012]-[0027]、図2-7 & US 2002/0036827 A1 & EP 1193512 A2	1-5

☒ 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

0 6 . 0 3 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

1 3 . 0 3 . 2 0 1 2

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)

池田 周士郎

2 0

3 9 0 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 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 10-186118 A (キヤノン株式会社) 1998.07.14, 特許請求の範囲、[0018][0019]図1 & US 6008942 A	1
Y	JP 9-127321 A (オリンパス光学工業株式会社) 1997.05.16, [0009]—[0039] 図10 & US 5847877 A & DE 19533591 A1	2-5
Y	JP 61-248001 A (株式会社東芝) 1986.11.05, 第3頁右上欄6行～左下欄8行、図3 (ファミリーなし)	5
A	JP 5-66370 A (松下電器産業株式会社) 1993.03.19, 全文、全図 & US 5237452 A & EP 531926 A1 & DE 69227875 C	1-12