

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4148648号
(P4148648)

(45) 発行日 平成20年9月10日 (2008. 9. 10)

(24) 登録日 平成20年7月4日 (2008. 7. 4)

(51) Int. Cl.

F 1

G O 2 B 27/58 (2006. 01)

G O 2 B 27/58

G O 2 B 27/28 (2006. 01)

G O 2 B 27/28

Z

請求項の数 24 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2000-605253 (P2000-605253)
 (86) (22) 出願日 平成11年6月30日 (1999. 6. 30)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP1999/003529
 (87) 国際公開番号 W02000/055677
 (87) 国際公開日 平成12年9月21日 (2000. 9. 21)
 審査請求日 平成18年3月30日 (2006. 3. 30)
 (31) 優先権主張番号 特願平11-67676
 (32) 優先日 平成11年3月15日 (1999. 3. 15)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願平11-109196
 (32) 優先日 平成11年4月16日 (1999. 4. 16)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000001960
 シチズンホールディングス株式会社
 東京都西東京市田無町六丁目1番12号
 (74) 代理人 100077517
 弁理士 石田 敬
 (74) 代理人 100092624
 弁理士 鶴田 準一
 (74) 代理人 100100871
 弁理士 土屋 繁
 (74) 代理人 100082898
 弁理士 西山 雅也
 (74) 代理人 100081330
 弁理士 樋口 外治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザー光源からの直線偏光を集光するレンズ系を有し、入射した直線偏光の一部を変調させてメインローブとサイドローブとを含む超解像を発生させる光学装置において、

入射される前記直線偏光の有効光束内において、位相分布を与えずに、前記直線偏光を光軸近傍の領域とそれ以外の領域とで直交する直線偏光に変換し、メインローブと該メインローブと異なった偏光ベクトルを有するサイドローブとを発生させる光束に変換するための旋光光学素子と、

前記旋光光学素子と前記レンズ系との間に配置され、前記サイドローブを除去する方位を有する偏光選択手段と、
 を有することを特徴とする光学装置。

【請求項 2】

前記旋光光学素子は、第1の機能部分と第2の機能部分とを有し、前記第1の機能部分と前記第2の機能部分とは異なる旋光特性を有する、請求項1に記載の光学装置。

【請求項 3】

前記第1の機能部分と前記第2の機能部分との旋光特性が互にほぼ90度異なる、請求項2に記載の光学装置。

【請求項 4】

前記第1の機能部分は、光軸近傍を含み、前記第2の機能部分は前記第1の機能部分を除く部分とした、請求項2に記載の光学装置。

【請求項 5】

前記第 1 の機能部分はホモジュニアス配向を有する領域とし、前記第 2 の機能部分は 90 度ツイストネマティック配向を有する領域とした、請求項 2 に記載の光学装置。

【請求項 6】

前記第 1 の機能部分と前記第 2 の機能部分の光路長は同じになるように設定されている、請求項 2 に記載の光学装置。

【請求項 7】

直線偏光を発生させるレーザー光源と、

入射される前記直線偏光の有効光束内において、位相分布を与えずに、前記直線偏光を光軸近傍の領域とそれ以外の領域とで直交する直線偏光に変換し、前記直線偏光をメインローブと前記メインローブと異なった方位を有するサイドローブとを発生させる光束に変換するための旋光光学素子と、

前記光束を光ディスク上に集光するための第 1 の集光レンズと、

前記光ディスクの情報を検出するための光検出素子と、

前記光ディスクからの反射光束を前記光検出素子に集光させるための第 2 の集光レンズと、

前記旋光光学素子と前記レンズ系との間に配置され、前記光束から前記サイドローブを除去するための方位を有する偏光選択手段と、

を有することを特徴とする光学装置。

【請求項 8】

直線偏光を発生させるレーザー光源と、

電気信号により回折機能が発生又は停止させることができる回折型レンズ素子と、

入射される前記直線偏光の有効光束内において、位相分布を与えずに、前記直線偏光を光軸近傍の領域とそれ以外の領域とで直交する直線偏光に変換し、前記直線偏光をメインローブと前記メインローブと異なった方位を有するサイドローブとを発生させる光束に変換するための旋光光学素子と、

前記光束を光ディスク上に集光するための集光レンズと、

前記旋光光学素子と前記レンズ系との間に配置され、前記光束から前記サイドローブのみを除去するための方位を有する偏光選択手段と、

を有することを特徴とする光学装置。

【請求項 9】

前記回折型レンズ素子が回折機能を有効とした場合の光学装置の焦点距離は前記回折型レンズ素子及び前記集光レンズの合成焦点距離となり、前記回折型レンズ素子が回折機能を停止した場合の光学装置の焦点距離は前記集光レンズのみの焦点距離となる、請求項 8 に記載の光学装置。

【請求項 10】

前記回折型レンズ素子は、液晶フレネルレンズである、請求項 8 に記載の光学装置。

【請求項 11】

前記回折型レンズ素子及び前記旋光光学素子は、一部材として構成されている、請求項 8 に記載の光学装置。

【請求項 12】

前記旋光光学素子は、入射される前記直線偏光の有効光束内において前記直線偏光に対しては位相分布をほぼ有しない、請求項 1、7 又は 8 の何れか一項に記載の光学装置。

【請求項 13】

前記旋光光学素子は、入射される前記直線偏光の光軸近傍又は光軸近傍以外の何れか一方に対して機能する、請求項 7 又は 8 に記載の光学装置。

【請求項 14】

前記旋光光学素子は、前記直線偏光の偏光軸とほぼ一致又は直交した液晶分子の配向軸を有する 90 度ツイストネマティック型の液晶素子及びホモジュニアス型の液晶素子から構成される、請求項 1 又は 13 に記載の光学装置。

【請求項 15】

前記 90 度ツイストネマティック型の液晶素子が前記直線偏光の光軸近傍部分に配置されている、請求項 14 に記載の光学装置。

【請求項 16】

前記ホモジュニアス型の液晶素子が、前記直線偏光の光軸近傍部分に配置されている、請求項 14 に記載の光学装置。

【請求項 17】

前記光軸近傍部分は、ほぼ円形又はほぼ長方形である、請求項 15 又は 16 に記載の光学装置。

【請求項 18】

前記偏光選択手段は、前記旋光光学素子に入射される前記直線偏光の方位を基準として前記旋光光学素子が前記直線偏光を 90 度旋光する方向に向かって、0 度以上 90 度以下の範囲の方位を持つように配置されている、請求項 1、7 又は 8 の何れか一項に記載の光学装置。

10

【請求項 19】

さらに、前記光束を集光するための集光レンズを有する、請求項 1、7 又は 8 の何れか一項に記載の光学装置。

【請求項 20】

前記メインローブは直線偏光であり且つ前記サイドローブは前記メインローブとは方位の異なる直線偏光である、請求項 1、7 又は 8 の何れか一項に記載の光学装置。

20

【請求項 21】

前記偏光選択手段は、直線偏光フィルタである、請求項 1、7 又は 8 の何れか一項に記載の光学装置。

【請求項 22】

前記旋光光学素子は、電氣的に旋光機能を生ず又は停止することが可能である、請求項 7 又は 8 に記載の光学装置。

【請求項 23】

前記旋光光学素子の旋光機能を生ずさせた場合と前記旋光光学素子の旋光機能を停止された場合とでそれぞれ異なった種類の光ディスクへ前記光束を集光させる、請求項 22 に記載の光学装置。

30

【請求項 24】

前記回折型レンズ素子の回折機能を生ずさせた場合と前記回折型レンズ素子の回折機能を停止させた場合とでそれぞれ異なった種類の光ディスクへ前記光束を集光させる、請求項 8 に記載の光学装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、収差の良く補正された光学装置の理論解像限界付近の解像度を更に向上させる超解像光学技術に関する。さらに本発明は、超解像特有のサイドローブを除去する技術に関する。そして特に本発明は、光ディスクの光ピックアップの解像度を向上させる技術に関する。

40

【0002】

【従来の技術】

光学装置の理論解像限界について簡単に説明する。幾何光学的に、ほぼ無収差で設計された光学装置において、その点像は無限小の光スポットで結像される。しかしながら、光スポットは、実際には、光の波動性による回折の影響で、有限の広がりを持つ。このとき、結像もしくは集光に寄与する光学装置の開口数を NA とすると、光スポットの広がり物理的定義は、式 $k \times \lambda \div NA$ で表される。ここで、 λ は光の波長、 k は光学装置により定まる定数で、通常は 1 ~ 2 の値をとる。また、開口数 NA は、一般には光学装置の有効入射瞳直径 D (普通は有効光束直径) と光学装置の焦点距離 f の比である D / f に比例す

50

る。

【0003】

したがって、光学装置の理論解像度を向上させるためには、即ち光スポットをより小さくするためには、より短波長の光を用いるか、開口数 NA を大きくすればよい。

【0004】

一般に良く使用されるレーザー光源の波長は、 780 nm 又は 650 nm である。また最近では、 410 nm の波長のレーザー光源も開発されている。しかしながら、 380 nm 以下の波長を有するレーザー光源は、実現しにくい又はコストも高くなる。

【0005】

また光学装置の開口数 NA を大きくする程、幾何光学的に無収差に光学装置を設計する事は困難になる。さらに、光学装置の焦点深度は、開口数 NA の2乗に比例して小さくなり、また光学装置のコマ収差は、開口数 NA の3乗に比例して大きくなってしまう。したがって、現状では開口数 $NA = 0.7$ 程度以上を有する光学装置の設計は、実現しにくい又はコストが高くなる。

【0006】

また、光学装置を形成する光学材料も、波長は 380 nm 以下の波長の光に対しては不透明となる。したがって、そのような光学材料を用いた光学装置では、光を有効に活用することができないという不利益もある。

【0007】

このような制約を考慮した上で、現状で最も小さい光スポットにより、光ディスクを読取った場合の記録密度は、直径約3.5インチの光ディスクで12GB(ギガバイト)程度である。したがって、この記録密度を超えるピットを光ディスク上に形成しても、前述した光スポットによっては的確に読取ることができない。

【0008】

そこで、上述した光学装置の理論解像限界を更に向上させるため、「O plus E」(第154号、66頁から72頁、1992年)に見られるような超解像光学装置を実現する技術が知られている。この技術は、集光光学装置の有効光束の一部分を遮蔽板でさえぎる事で、光スポットを光学装置の理論限界より10から20%程度細くすることを可能としている。この技術は、等価的に光学装置の開口数 NA を大きくしたこと、又は光源波長を短くしたことに匹敵する。

【0009】

しかしながら、超解像光学装置により光スポットを形成すると、その両脇に超解像特有のサイドローブ、即ち比較的大きな山が発生し、あたかも3つの山のような光スポットが発生してしまうという問題があった。

【0010】

この点を図6及び図7を参考にして解説する。まず、図6に示すように光軸601を中心として半径 r の遮蔽マスク602で集光レンズ603の開口を遮蔽する。このとき半径 r は有効光束604の半径よりは小さい。また図6には光学装置の断面図を描いたが、実際の光学装置は光軸601を回転軸とした回転対称形である。

【0011】

このとき、集光レンズ603の焦点であるP点における光スポット701は、図7のよう考えることができる。すなわち、それは、有効光束604による光スポット702から遮蔽マスク602による仮想の光スポット703を差し引いたものとなる。このときP点での光スポット701は、有効光束604による光スポット702より細くなり、またサイドローブ704(すなわち図7で負の部分)が発生しているのがわかる。

【0012】

図7において、サイドローブ704は負の値であるが、これは光学的に考えれば正の部分と比べ光波の位相が180度シフト、すなわち位相が反転したことを意味する。しかしながら、光の強度として考えれば、このサイドローブ704の部分にも、光の強度はある。したがって、P点には、3つの山を有する光スポットが発生する。なお、図7は、縦軸

10

20

30

40

50

を複素振幅表示とし、横軸を位置として表したものである。

【 0 0 1 3 】

このような3つの山を有する光スポットを、特に光ディスクのピックアップに応用するには問題があった。このため、「光学」(第18巻、第12号、691頁から692頁、1989年)では、光路中に微細なスリットを用いてサイドローブのみを除去しようとする技術が提案されている。しかしながら、スリットがずれると、サイドローブ以外の光スポットも遮蔽してしまう。そこで、スリットの位置合わせは微妙に行わなければならなかった。さらにゴミなどがスリットの隙間に付着する問題も生じた。またスリットを定位置に設置したとしても、やはりスリットにより光を遮光する以上は、そこで新たに光の回折が生じ多少のサイドローブが発生するという更なる問題もあった。

10

【 0 0 1 4 】

【発明が解決しようとする課題】

そこで、本発明は、上記の問題点を解決し、超解像集光スポットからサイドローブ又はサイドローブの成分のみを除去することができる光学装置を提供するものである。

【 0 0 1 5 】

また、本発明は、超解像と通常解像とを簡単な方法で容易に切り替えることができる光学装置を提供するものである。

【 0 0 1 6 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明においては、以下の構成とした。

20

【 0 0 1 7 】

光学装置は、直線偏光発生手段からの直線偏光を集光するレンズ系を有し、入射した直線偏光の一部を変調させてメインローブとサイドローブとを含む超解像を発生させるものであって、入射した直線偏光をメインローブと該メインローブと異なった偏光ベクトルを有するサイドローブとを発生させる光束に変換するための旋光光学素子と、サイドローブを除去する方位を有する偏光選択手段を有することを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

また、光学装置は、直線偏光を発生させる手段、直線偏光をメインローブとメインローブと異なった方位を有するサイドローブとを発生させる光束に変換するための旋光光学素子、及び光束からサイドローブのみを除去するための偏光選択手段とを有することとした。

30

【 0 0 1 9 】

ここで、旋光光学素子は、直線偏光の偏光軸とほぼ一致又は直交した液晶分子の配向軸を有する90度ツイストネマティック型の液晶素子及びホモジュニアス型の液晶素子から構成されることとした。

【 0 0 2 0 】

またここで、偏光選択手段は、旋光光学素子に入射される直線偏光の方位を基準として旋光光学素子が直線偏光を90度旋光する方向に向かって、0度以上90度以下の範囲の方位を持つように配置されていることとした。

【 0 0 2 1 】

40

また、光学装置は、直線偏光を発生させる直線偏光を発生させる手段と、直線偏光をメインローブとメインローブと異なった方位を有するサイドローブとを発生させる光束に変換するための旋光光学素子と、光束を光ディスク上に集光するための第1の集光レンズと、光ディスクの情報を検出するための光検出素子と、光ディスクからの反射光束を光検出素子に集光させるための第2の集光レンズと、光束からサイドローブのみを除去するための方位を有する偏光選択手段とを有することとした。

【 0 0 2 2 】

ここで、旋光光学素子は、電氣的に旋光機能を発生又は停止することが可能であり、旋光光学素子の旋光機能を発生させた場合と旋光光学素子の旋光機能を停止された場合とでそれぞれ異なった種類の光ディスクへ光束を集光させることとした。

50

【 0 0 2 3 】

その場合、異なった種類の光ディスクは、DVDとCD、又はDVDとCD—R(W)等とした。

【 0 0 2 4 】

また、光学装置は、直線偏光を発生させる直線偏光を発生させる手段と、電気信号により回折機能を発生又は停止させることができる回折型レンズ素子と、直線偏光をメインローブとメインローブと異なった方位を有するサイドローブとを発生させる光束に変換するための旋光光学素子と、光束を光ディスク上に集光するための集光レンズと、光束から前記サイドローブのみを除去するための方位を有する偏光選択手段とを有することとした。

【 0 0 2 5 】

ここで、回折型レンズ素子が回折機能を有効とした場合の光学装置の焦点距離は回折型レンズ素子及び集光レンズの合成焦点距離となり、回折型レンズ素子が回折機能を停止した場合の光学装置の焦点距離は前記集光レンズのみの焦点距離となることとした。

【 0 0 2 6 】

さらに、回折型レンズ素子の回折機能を発生させた場合と回折型レンズ素子の回折機能を停止された場合とでそれぞれ異なった種類の光ディスクへ光束を集光させることとした。

【 0 0 2 7 】

その場合、異なった種類の光ディスクは、DVDとCD、又はDVDとCD—R(W)等とした。

【 0 0 2 8 】

【発明の実施の形態】

(第1の実施形態)

本発明による第1の実施形態を図1を用いて説明する。図1には光学装置の断面図を描いたが、実際の光学装置は光軸101を回転軸とした回転対称形である。直線偏光102は、図示しない半導体レーザー等のレーザー光源から出射された光をコリメータレンズ等でほぼ平行光束としたものである。Y軸方向に一致する偏光方向を有する直線偏光102は、旋光光学素子103を通過する。このとき、旋光光学素子103の中央部分104(図で斜線部分)は、この部分の直線偏光102の偏光方向を90度回転させ、ほぼX軸方向に一致させる。また旋光光学素子103は、直線偏光102に対して位相分布を持たない。すなわち、旋光光学素子103の中央部分104を通過する光束とそれ以外の部分を通過する光束の光路長は同じである。

【 0 0 2 9 】

旋光光学素子103を通過した有効光束105は集光レンズ106によりP点に集光される。このとき国際公開WO98/15952号公報に示されるようにP点では超解像現象が生じる。すなわち中央部分104を通過した光は他の残りの部分を通過した光と比べ偏光軸が90度回転している。したがって直交した直線偏光は互いに干渉しないことが知られるため、中央部分104は他の残りの部分に対してあたかも遮蔽マスクをされたかのごとく振る舞う。偏光選択手段107は、旋光光学素子103によってP点にできる超解像光スポットのサイドローブを除去する。

【 0 0 3 0 】

ここで偏光選択手段107が無い場合、図1のP点に形成される超解像光スポット801の形状を図8を参照して考察する。図8は、縦軸を複素振幅表示とし、横軸を位置として表したものである。前述の図7の説明からわかるように有効光束105の全体による光スポット802から中央部分104による光スポット803を差し引いたものが超解像光スポット801である。

【 0 0 3 1 】

しかしながら、直交した直線偏光は干渉はしないが、強度としては足し合わされる。したがって、図7の場合と異なり、P点に形成される実際の光スポットの強度は、超解像光スポット801の強度(すなわち絶対値の二乗)と中央部分104による光スポット80

10

20

30

40

50

3の強度を足したものとなる。

【0032】

図9は、P点に形成される光スポットの強度を示したものである。図9では、縦軸を光の強度とし、横軸を位置として表している。901は、有効光束105の全体による光スポットの強度を示したものである。また、902は、実際にP点に形成される光スポットの強度を示したものである。その光スポットの強度は、超解像光スポット801の強度（すなわち絶対値の二乗）と中央部分104による光スポット803の強度（すなわち絶対値の二乗）を足したものである。

【0033】

次に図8と図9を比較しながら、光スポットの各部の偏光状態と相対位相について考える。まず中央部分104による光スポット803は、X軸方向に直線偏光している。また超解像光スポット801は、Y軸方向に直線偏光している。しかしながら、超解像光スポット801のサイドローブ804は、サイドローブ以外の部分と比べ位相が反転し、マイナスY軸方向に直線偏光していると考えることができる。

【0034】

ここで、図9における強度で考えた場合の光スポット902のサイドローブ905について考える。この部分は、中央部分104による光スポット803と超解像光スポット801のサイドローブ804を足し合わせた偏光ベクトルとなっている。即ち、その偏光ベクトルは、図10(a)に示されるように、中央部分104による偏光ベクトル1001と、超解像光スポット801のサイドローブ804の偏光ベクトル1002を足し合わせた合力ベクトル1003aを有する直線偏光となる。前述したように、旋光光学素子103は入射光に対しては位相分布を持たない。したがって、直線偏光どうしが同位相あるいは180度（もしくはそれらの整数倍）位相がずれて重ね合わさってもその合力はまた直線偏光である。

【0035】

次に、図9における強度で考えた場合の光スポット902のメインローブ904について考える。この部分は、中央部分104による光スポット803と超解像光スポット801のサイドローブ804以外を足し合わせた偏光ベクトルとなっている。即ち、その偏光ベクトルは、図10(b)に示されるように、中央部分104による偏光ベクトル1001と、超解像光スポット801のサイドローブ以外の偏光ベクトル1004を足し合わせた合力ベクトル1003bを有する直線偏光である。

【0036】

さらに注目すべきは、図10(a)に示される光スポット902のサイドローブ905における直線偏光の合力ベクトル1003aは、図10(b)に示される光スポット902のメインローブ904における直線偏光の合力ベクトル1003bとは、その方向が常に異なっていることである。

【0037】

したがって、図10(a)及び(b)から理解されるように、図1において、合力ベクトル1003aの方位と直交した検波軸の方位を持つ直線偏光検波素子107を偏光選択手段として、旋光光学素子103の直後に設置すれば、サイドローブにおける直線偏光の合力ベクトル1003aを消滅させることができる。結果として、図1のP点にできる超解像光スポット902のサイドローブ905を除去することが可能となる。また、このとき合力ベクトル1003bは消滅しないこともわかる。

【0038】

光スポット902から、偏光選択手段によりサイドローブ905を除去した波形を図9に903として示す。中心位置において903の強度が902の強度より低いのは、偏光選択手段の透明度が100%でないこと等の理由による。

【0039】

図10(a)及び(b)から、超解像光スポットのサイドローブを消滅させるための直線偏光検波素子107の方位 θ は、Y軸方向を0度としてX軸方向に向かって測り、0度

10

20

30

40

50

以上90度以下の範囲に存在することがわかる。さらに詳しくは中央部分104による偏光ベクトル1001の大きさが小さいほど、よって中央部分104の面積が小さいほど θ は90度に近づく。

【0040】

直線偏光検波素子107は、旋光光学素子103の直後に必ずしも置かなくて良い。しかしフーリエ結像論から考えれば、レンズの集光点に集まる光スポットの成分はレンズの直後では有効光束全体に様に広がっているが、集光点に近づくほど一様性がなくなる。すなわち、図10(a)及び図10(b)における合力ベクトル1003a及び1003bの方向は、集光レンズ106の直後ではXY平面上のどの部分をとっても同様である。別の言い方をすれば超解像光スポットのサイドローブの成分は、集光レンズ106の直後では有効光束105中に様に広がっている。しかし集光点Pに近づくほど徐々にスポットが結像されるので、その一様性が失われてしまう。すなわち直線偏光検波素子107を集光点Pに近づけすぎると、XY平面上で部分的にしかサイドローブの成分を除去できなくなり都合が悪い。

10

【0041】

(第2の実施形態)

次に、本発明による第2の実施形態を図2を用いて説明する。図2には光学装置の断面図を描いたが、実際の光学装置は光軸201を回転軸とした回転対称形である。直線偏光202は、図示しない半導体レーザー等のレーザー光源から出射された光をコリメータレンズ等でほぼ平行光束としたものである。Y軸方向に一致する偏光方向を有する直線偏光202は、旋光光学素子203を通過する。このとき、旋光光学素子203の中央部分204(図で斜線部分)は、この部分の直線偏光202の偏光方向を90度回転させ、ほぼX軸方向に一致させる。また旋光光学素子203は、直線偏光202に対して位相分布を持たない。すなわち、旋光光学素子203の中央部分204を通過する光束とそれ以外の部分を通る光束の光路長は同じである。

20

【0042】

旋光光学素子203を通過した有効光束206は集光レンズ207によりP点に集光される。このとき国際公開WO98/15952号公報に示されるようにP点では超解像現象が生じる。すなわち中央部分204を通過した光は他の残りの部分を通る光と比べ偏光軸が90度回転している。したがって直交した直線偏光は互いに干渉しないことが知られるため、中央部分204は他の残りの部分に対してあたかも遮蔽マスクをされたかのごとく振る舞う。偏光選択手段208は、旋光光学素子203によってのP点にできる超解像光スポットのサイドローブを除去する。

30

【0043】

図1に示される本発明の第1の実施形態との差異は、位相変調を伴わない旋光光学素子として液晶素子を用いたことである。

【0044】

まず、本発明の理解を容易にするために液晶素子による光の旋光機能及び位相変調機能について図11(a)及び(b)を用いて説明する。

【0045】

図11(a)及び(b)は、電氣的に制御可能な一般的なホモジュニアス型液晶素子及びツイストネマティック型液晶素子の旋光機能を模式的に表している。透明電極がコートされたガラス基板1101に液晶分子1102が挟まれている。入射側のガラス基板上では、全ての液晶の配向軸1103の方向がY軸方向と一致している。しかしながら、出射側のガラス基板上では、液晶の配向軸1103の方向が上半分がY軸方向と一致し、下半分がX軸方向と一致している。

40

【0046】

液晶分子1102は、その長軸方向を配向軸方向にそろえる性質及び連続体として振る舞う性質を持つ。その結果、図11(a)に示されるように、液晶素子の上半分側の液晶分子1102はY軸方向に平行に並びこれをホモジェニアス型液晶という。また、液晶素

50

子の下半分側の液晶分子 1 1 0 2 は徐々に滑らかに 9 0 度回転し、これを 9 0 度ツイストネマティック型液晶という。

【 0 0 4 7 】

この液晶素子に Y 軸方向に直線偏光した入射直線偏光 1 1 0 4 が入射すると、液晶分子の誘電異方性のため入射直線偏光 1 1 0 4 の偏光軸は結果的に液晶分子 1 1 0 2 の長軸方向に沿って伝搬する。すなわち出射直線偏光 1 1 0 5 の偏光軸は上半分が Y 軸方向、下半分が X 軸方向となり互いに直交する。すなわち、9 0 度ツイストネマティック型液晶素子を伝搬した直線偏光は 9 0 度旋光作用を受けることとなる。

【 0 0 4 8 】

また、液晶分子の長軸方向の屈折率を n_1 、短軸方向の屈折率を n_2 、及び液晶層厚を d とすると、液晶層内を進む入射直線偏光 1 1 0 4 の光路長は上下両者ともに $n_1 \times d$ で表されることとなる。したがって、両者間に光路長の差による位相差は生じない。すなわちこの液晶素子は入射直線偏光 1 1 0 4 に対し位相分布を持たない。

【 0 0 4 9 】

厳密にいうならば、入射直線偏光 1 1 0 4 を直線偏光として出射するためには、入射直線偏光 1 1 0 4 の偏光軸の方向が入射側の配向軸 1 1 0 3 の方向すなわち液晶分子長軸と一致し、かつ $2 \times (n_1 - n_2) \times d \div \lambda$ が 3、1 5、3 5 等のいずれかの平方根となる必要があることが知られている。ここで、 n_1 は液晶分子の長軸の屈折率、 n_2 は液晶分子の短軸の屈折率、 λ (nm) は入射光の波長、及び d (nm) は液晶層厚又はセルギャップである。なお、ここで、 $2 \times (n_1 - n_2) \times d \div \lambda$ が 3 と等しくなる場合をファーストミニマム、1 5 と等しくなる場合をセカンドミニマム、3 5 と等しくなる場合をサードミニマムと言う。この数値は、 $(1 + x) = (2 \times n)^2$ (n は整数) の式から導かれ、 $n = 1$ (ファーストミニマムに対応) のとき $x = 3$ 、 $n = 2$ (セカンドミニマムに対応) のとき $x = 1 5$ 、 $n = 3$ (サードミニマムに対応) のとき $x = 3 5$ となる。一般に、 n が高くなるほど、温度の変動や波長変動に対してより安定な直線偏光した光の出射が保証される。しかしながら、逆に、時間の応答性や視野角が悪くなるという欠点がある。本実施形態では、時間の応答性や視野角をあまり問題としないため、 n が高いほど好ましい。しかしながら、あまりに n が高すぎると、液晶配向状態が不安定となるという欠点が生じてしまう。したがって、 n は 3 乃至 1 0 の範囲で用いられるのが好ましく、さらに n が 3 乃至 6 の範囲で用いられることがさらに好ましい。しかしながら、使用する光の波長、液晶分子の屈折率及び液晶層の厚みが、先の式を厳密にみたさなくてもさほど不都合は生じない。

【 0 0 5 0 】

また、先の式を厳密に満たすように、理想的な液晶を設計した場合でも、熱的なゆらぎがある場合には、その素子が理想的に動作しない場合がある。そこで、図 1 3 に示されるような液晶の T-V カーブにおける閾値電圧 (V_{th}) を印加して動作させると良い。なお、図 1 3 に示される T-V カーブは、本実施形態で使用される 9 0 度ツイストネマティック型液晶を平行配置の偏光板で挟み (電圧を印加しないと光が出てこない状態で)、液晶に印加する電圧 V と透過率 T との関係をグラフにしたものである。ここでは、素子に V_{th} の電圧 (通常は、実効電圧で 1 ~ 1.5 V) を印加した場合には、光抜けが最も生ぜず、旋光性が最も理想的に働き、また熱的なゆらぎの影響も少ない。

【 0 0 5 1 】

電源 1 1 0 6 によって、ガラス基板にコートされた透明電極を介して液晶素子に Z 軸方向の電界を加えると、図 1 1 (b) に示すようにすべての液晶分子 1 1 0 2 の長軸が電界の方向である Z 軸方向に並んで静止する。この状態をホメオトロピックという。このとき出射直線偏光 1 0 0 5 は液晶素子の上下側共に入射直線偏光 1 0 0 4 と同じ Y 軸方向となる。すなわち下側にあった旋光機能はなくなる。またこのときは液晶層内を進む入射直線偏光 1 0 0 4 の光路長は $n_2 \times d$ である。また印加する電圧の大きさを制御することでツイストネマティックあるいはホモジュニアスとホメオトロピックの中間状態をつくることもできる。また旋光光学素子として使用するときは、液晶分子に常に閾値電圧 (V_{th})

10

20

30

40

50

又はその近傍の電圧を加えると旋光機能がより理想的に働くことも知られている。

【 0 0 5 2 】

次に前記液晶素子を用いた図 2 における旋光光学素子 2 0 3 の構造を図 1 2 を用いて説明する。図 1 2 (a) で中央の円形で表された斜線部分が 9 0 度ツイストネマティック型液晶素子 1 2 0 1 で、残りの部分がホモジェニアス型液晶素子 1 2 0 2 である。

【 0 0 5 3 】

図 1 2 (b) は別の構造で中央の長方形で表された斜線部分が 9 0 度ツイストネマティック型液晶素子 1 2 0 1 で、残りの部分がホモジェニアス型液晶素子 1 2 0 2 である。図 1 2 (b) の構造のように、9 0 度ツイストネマティック型液晶素子 1 2 0 1 の Y 軸方向が有効光束すべてにまたがり、且つ 9 0 度ツイストネマティック型液晶素子 1 2 0 1 の X 軸方向が有効光束の一部分にまたがる場合、X 軸方向のみに超解像が生じる。

10

【 0 0 5 4 】

また電極 1 2 0 3 を通して、液晶に適当な電圧を加えると、全ての液晶がホメオトロピック状態になり旋光性が失われる。

【 0 0 5 5 】

なお、図 1 2 (a) 及び (b) において、9 0 度ツイストネマティック型液晶素子として示した部分とホモジェニアス型液晶素子として示した部分を入れ替えた場合、偏光選択手段としての直線偏光検波素子 1 0 7 の方位 θ を適当に考慮することによって、同様の効果が得られる。

【 0 0 5 6 】

20

なお、偏光選択手段としての直線偏光検波素子 2 0 8 としては、直線偏光フィルタ、偏光板、偏光性回折素子、偏光ビームスプリッタ、又はブリュースター角度に配置されたミラー等を用いることが可能である。これは、本発明の全ての実施形態において同様である。

【 0 0 5 7 】

次に図 2 に示された本実施形態の動作について説明する。図 2 では、光学装置の断面図で描いたが、実際の光学装置は光軸 2 0 1 を回転軸とした回転対称形である。Y 軸方向の直線偏光 2 0 2 は旋光光学素子 2 0 3 を通過する。このとき、旋光光学素子 2 0 3 の中央部 (斜線部) は、(Y 軸方向から X 軸方向に向かって回転している) 9 0 度ツイストネマティック型液晶素子 2 0 4 から構成され、直線偏光 2 0 2 の偏光方向を 9 0 度回転させ X 軸方向とする。また旋光光学素子 2 0 3 を図 1 2 (a) に示したものとすると、中央部以外はホモジェニアス型液晶素子 2 0 5 から構成され旋光機能はない。またこのとき直線偏光 2 0 2 の有効光束 2 0 6 に対して旋光光学素子 2 0 3 は位相分布を持たないことが前述の説明から明らかである。さらに各液晶素子の直線偏光 2 0 2 の入射側の液晶分子の配向軸方向は、ほぼ Y 軸方向である。

30

【 0 0 5 8 】

旋光光学素子 2 0 3 を通過した有効光束 2 0 6 は、集光レンズ 2 0 7 により P 点に集光される。このとき P 点では超解像現象が生じる。すなわち 9 0 度ツイストネマティック型液晶素子 2 0 4 を通過した直線偏光はホモジェニアス型液晶素子 2 0 5 を通過した直線偏光と比べ偏光軸が 9 0 度回転している。

40

【 0 0 5 9 】

このとき、直線偏光検波素子 2 0 8 を、Y 軸方向を 0 度として X 軸方向に向かって測り、約 6 0 度の方位で、旋光光学素子 2 0 3 の直後に設置したところ、前述したように超解像光スポットからサイドローブを消去することができた。なお、本発明における他の実施形態においても、偏光選択手段としての直線偏光検波素子の方位は上記と同様であり、それによって同様にサイドローブを除去することができた。

【 0 0 6 0 】

(第 3 の実施形態)

次に本発明による第 3 の実施形態について図 3 を用いて説明する。本実施形態は、本発明を光ディスクのピックアップに応用したものである。図 3 では光学装置の断面図で描い

50

たが、実際の光学装置は光軸 301 を回転軸とした回転対称形である。Y 軸方向の直線偏光 302 は旋光機能を電気信号で制御可能な旋光光学素子 303 を通過する。このとき、旋光光学素子 303 の中央部分 304 (図で斜線部分) は直線偏光 302 の偏光方向を 90 度回転させ X 軸方向とし、中央部分 304 以外の部分は旋光機能を持たない。また旋光光学素子 303 は直線偏光 302 に対して位相分布を持たない。すなわち、旋光光学素子 303 の中央部分 304 とそれ以外の部分とは直線偏光 302 に対し光路長は同じである。旋光光学素子 303 を通過した有効光束 305 は光分離素子 308 を通過し、第 1 の集光レンズ 306 により光ディスク 307 上の P 点に集光される。このとき国際公開 WO 98 / 15952 号公報に示されるように P 点では超解像現象が生じる。すなわち中央部分 304 を通過した光は他の残りの部分を通じた光と比べ偏光軸が 90 度回転している。したがって直交した直線偏光は互いに干渉しないことが知られるため、中央部分 304 は他の残りの部分に対してあたかも遮蔽マスクをされたかのごとく振る舞う。

10

【0061】

光ディスク 307 上に集光された超解像光スポットは、光ディスク 307 のピットの信号を読み取って反射する。その反射光は、再度第 1 の集光レンズ 306 を通過し光分離素子 308 により分離され、第 2 の集光レンズ 309 により光信号検出素子 310 上に集光される。しかし光信号検出素子 310 上に集光される光スポットはやはりサイドローブを持った光スポットである。光ディスク 307 上で、超解像光スポットのメインローブは目的のピットを読み取る。しかしながら、両脇のサイドローブは、隣接するピットを読み取ってしまう場合がある。その場合の反射光は、ノイズ成分となってしまう。

20

【0062】

ここで偏光選択手段として直線偏光検波素子 311 を第 2 の集光レンズ 309 の近傍に設置し、且つその方位を前述したようにサイドローブが持つ直線偏光の方位と直交して設置すれば光信号検出素子 310 にはサイドローブは集光しない。すなわち検出光からノイズ成分を除去できる。

【0063】

なお、本実施形態においては、直線偏光検波素子 311 を光分離素子 308 と第 2 の集光レンズ 309 との間に配置したが、直線偏光検波素子 311 の位置はこれに限らない。したがって、直線偏光検波素子 311 を第 1 の集光レンズ 306 の近傍に設置し、そもそも光ディスク 307 に集光される超解像光スポットからサイドローブを除去するように配置してもよい。その場合、一般に直線偏光検波素子は完全には透明でないため光ディスク 307 に集光する光利用率が低下してしまう。したがって普通は光信号検出素子 310 の手前でサイドローブの成分を除去すれば十分である。

30

【0064】

さらに、直線偏光検波素子 311 は、必ずしも第 2 の集光レンズ 309 の近傍に置く必要はない。しかしフーリエ結像論から考えれば、レンズの集光点に集まる光スポットの成分はレンズの直後では有効光束全体に様に広がっているが、集光点に近づくほど一様性がなくなる。すなわち図 10 (a) 及び (b) で合力ベクトル 1003a 及び 1003b の方向は第 2 の集光レンズ 309 の近傍では XY 平面上のどの部分をとっても一様である。しかし光信号検出素子 310 に近づくほど徐々にスポットが結像されるのでその一様性が失われてしまう。すなわち直線偏光検波素子 311 を光信号検出素子 310 に近づけすぎると、XY 平面上で部分的にしかサイドローブの成分を除去できなくなり都合が悪い。

40

【0065】

ここで電気信号により旋光光学素子 303 の旋光機能を停止すれば超解像は消滅し通常解像となる。これは電気信号により超解像と通常解像を切り替えた事になる。例えば通常解像時 C D の光ディスクのピットの読み取りに、超解像時 C D よりピットの細かい D V D の光ディスクの読み取りに使用することができる。

【0066】

(第 4 の実施形態)

次に本発明による第 4 の実施形態について図 4 を用いて説明する。本実施形態は、本発

50

明を光ディスクのピックアップに応用したものである。図4では光学装置の断面図で描いたが、実際の光学装置は光軸401を回転軸とした回転対称形である。Y軸方向の直線偏光402は旋光機能を電源413が供給する電気信号で制御可能な旋光光学素子403を通過する。このとき、旋光光学素子403の中央部分404(図で斜線部分)は直線偏光402の偏光方向を90度回転させX軸方向とし、中央部分404以外の部分は旋光機能を持たない。また旋光光学素子403は直線偏光402に対して位相分布を持たない。すなわち、旋光光学素子403の中央部分404とそれ以外の部分とでは直線偏光402に対し光路長は同じである。旋光光学素子403を通過した有効光束406は光分離素子407を通過し、第1の集光レンズ408により光ディスク409上のP点に集光される。このとき国際公開WO98/15952号公報に示されるようにP点では超解像現象が生じる。すなわち中央部分404を通過した光は他の残りの部分を通過した光と比べ偏光軸が90度回転している。したがって直交した直線偏光は互いに干渉しないことが知られるため、中央部分404は他の残りの部分に対してあたかも遮蔽マスクをされたかのごとく振る舞う。

10

【0067】

光ディスク409上に集光された超解像光スポットは、光ディスク409のピットの信号を読み取って反射する。その反射光は、再度第1の集光レンズ408を通過し光分離素子407により分離され、第2の集光レンズ410により光信号検出素子411上に集光される。しかし光信号検出素子411上に集光される光スポットはやはりサイドローブを持った光スポットである。光ディスク409上で、超解像光スポットのメインローブは目的のピットを読み取る。しかしながら、両脇のサイドローブは、隣接するピットを読み取ってしまう場合がある。その場合の反射光は、ノイズ成分となってしまう。

20

【0068】

ここで偏光選択手段として直線偏光検波素子412を第2の集光レンズ410の近傍に設置し、且つその方位を前述したようにサイドローブが持つ直線偏光の方位と直交して設置すれば光信号検出素子411にはサイドローブは集光しない。すなわち検出光からノイズ成分を除去できる。

【0069】

本実施形態は、基本的には第3の実施形態と同じだが、電気信号で制御可能な旋光光学素子403として、第2の実施形態に使用したものと同様の液晶素子を用いたものである。

30

【0070】

図面を用いて簡単に説明する。Y軸方向の直線偏光402が図12(a)に示される旋光光学素子403に入射する。このとき、旋光光学素子403の中央部(斜線部)は90度ツイストネマティック型液晶素子404から構成され、直線偏光402の偏光方向を90度回転させX軸方向とする。また旋光光学素子403の中央部以外はホモジェニアス型液晶素子405から構成され旋光機能はない。またこのとき直線偏光402の有効光束406に対して旋光光学素子403は位相分布を持たないことが前述の説明から明らかである。さらに各液晶素子の直線偏光402の入射側の液晶分子の配向軸方向は、ほぼY軸方向である。

40

【0071】

旋光光学素子403を透過した有効光束406は光分離素子407を透過し、第1の集光レンズ408で光ディスク409に集光される。光ディスク409で超解像されたスポットがピットの信号を読み取り反射する。そして再び第1の集光レンズ408を透過し、プリズムやハーフミラー等で構成された光分離素子407で分離され、第2の集光レンズ410で光信号検出素子411上に集光される。この際、第2の集光レンズ410近傍に設置された偏光選択手段としての直線偏光検波素子412により、前述したように、光検出素子411上でのサイドローブが除去される。

【0072】

また、光ディスク基板等が大きな複屈折を持つ場合、光ディスクを反射あるいは透過し

50

た超解像光スポットのサイドローブが作る合力ベクトルが楕円偏光になる可能性がある。その場合、超解像光スポットのサイドローブが直線偏光検波素子 4 1 2 で完全には除去できなくなる。しかしながら、旋光光学素子 4 0 3 に故意に複屈折性を持たせ、光ディスク基板等の複屈折とキャンセルするようにすれば、超解像光スポットのサイドローブを除去することができる。

【 0 0 7 3 】

光ディスク基板等の複屈折をキャンセルする方法としては、旋光光学素子を通過した光束に、故意に適当な楕円偏光を与える方法が考えられる。直線偏光が、光ディスクの基板の複屈折によって、楕円偏光になるのだから、この楕円偏光を相殺するような楕円偏光を予め与えておけば良い。具体的には、以下の 5 つの方法が考えられる。

10

【 0 0 7 4 】

第 1 は、入射直線偏光の偏光軸を液晶の配向軸方向（液晶分子の長軸方向）からわずかにずらして入射させる方法である。この場合におけるずらす角度としては、 -5 度乃至 $+5$ 度の範囲が好ましい。このように、入射角をずらすことにより、入射直線偏光は、液晶分子の長軸だけでなく、液晶分子の短軸の成分にも影響されながら、伝播されるため、複屈折が生じる。その結果、旋光光学素子を出射する光束は、楕円偏光となる。

【 0 0 7 5 】

第 2 は、偏光軸はずらさないが、液晶素子全体に閾値電圧（ V_{th} 、図 1 3 参照）よりやや高めの電圧（閾値電圧の 1.0 から 1.3 倍程度の電圧が望ましい）を印加する方法である。閾値電圧（ V_{th} ）よりやや高めの電圧を印加すると、液晶が電界方向に立ち上がるため、入射直線偏光に対する液晶の実質的な屈折率が変わることとなる。その結果、液晶素子が、理想的な動作状態からずれることとなり、旋光光学素子から出射される光束は楕円偏光となる。

20

【 0 0 7 6 】

第 3 は、液晶を予め理想的な動作状態からずれた状態で動作するように設計しておく方法である。

【 0 0 7 7 】

第 4 は、光信号検出素子 4 1 1 と光ディスク 4 0 9 との間の光路に、複屈折を発生させる原因となる光ディスクの基盤と同じような複屈折を発生させる素子を挿入させる方法である。

30

【 0 0 7 8 】

第 5 は、上記 4 つの方法を適当に組み合わせる方法である。

【 0 0 7 9 】

また、液晶素子の製造時のばらつきや温度変化による液晶素子の特性の変化、温度変化による半導体レーザー光源の光源波長の変化を補正するために、この電圧 V_{th} より高めのバイアス電圧を加えてもよい。

【 0 0 8 0 】

本実施形態の旋光光学素子 4 0 3 は、第 2 の実施形態において説明したように、電氣的にその旋光機能を停止させることが可能である。したがって、旋光機能を停止させ、通常解像にして、CD の読取りを行い、旋光機能を発生させ、超解像にして、CD よりよりピットが小さい DVD の読取りを行うようにすることも可能である。

40

【 0 0 8 1 】

CD と DVD の両方を良好に読取るために、本実施形態を以下のように変更使用することが好ましい。

【 0 0 8 2 】

旋光光学素子 4 0 3 の旋光機能を停止させて、 780 nm の半導体レーザーを直線偏光レーザー光源として用い、公知の CD ピックアップ用レンズを第 1 の集光レンズとして用いて、CD 又は CD - R（書き込み可能な CD）の読取り又は書き込みを行う。さらに、旋光光学素子 4 0 3 の旋光機能を発生させて超解像によりさらに細い光スポット発生させ、上記の CD ピックアップ用レンズに替えて公知の DVD ピックアップ用レンズを用いて

50

D V D の読取りを行う。

【 0 0 8 3 】

従来、C D 又は C D - R 用に 7 8 0 n m のレーザー光源が、D V D 用に 6 5 0 n m のレーザー光源が必要であったが、上述のように構成することにより、7 8 0 n m のレーザー 1 つのみで、C D、C D - R 及び D V D の読取り等を行えることが可能となった。特に C D - R は、6 5 0 n m の光に感度を有していないことから、7 8 0 n m の波長のレーザー光源のみによって、D V D の読取りまで行えるようになることは非常に効果的である。

【 0 0 8 4 】

なお、ここで、公知の C D ピックアップ用レンズと D V D ピックアップレンズの交換は機械的等の公知の変更手段によって達成することが可能である。また、解像力の高い D V D 用のレンズで、通常そのまま C D の読取り等が行えないのは、D V D と C D のディスク基盤の厚さが 0 . 6 m m (D V D) と 1 . 2 m m (C D) と異なることから、ディスク基盤の厚さによって発生する球面収差量が異なるからである。しかしながら、公知の 1 つのレンズで D V D 及び C D の両方に対応したピックアップレンズを用いれば、D V D を読取る場合と C D を読み取る場合で、レンズの切り替えを行う必要がない。

【 0 0 8 5 】

さらに、旋光光学素子 4 0 3 の中心部分 4 0 4 の割合が約 2 0 % である場合、光ディスク上の光スポットは約 1 5 % 小さくなる。即ちこれは、レーザー波長が 1 5 % 短くなったのと同質的に同じ効果がある。したがって本実施形態の場合、旋光光学素子 4 0 3 の中心部分 4 0 4 の割合を 2 0 % とすることにより、7 8 0 n m のレーザー波長は、1 5 % 短くなって約 6 6 3 n m 相当となり、十分に D V D の読取りに絶え得る光スポットを形成することができる。なお、旋光光学素子 4 0 3 の中心部分 4 0 4 の割合と光スポットが細くなる割合との関係は、光学装置の種類によって多少変化する。

【 0 0 8 6 】

(第 5 の実施形態)

次に図 5 を用いて本発明による第 5 の実施形態における光学装置について説明する。第 5 の実施形態における光学装置は、D V D、C D、C D - R 及び C D - R W 等のすべてに対応可能な光ピックアップ用の光学装置を前提としたものである。簡単のため図 5 は Y Z 平面である 2 次元に投影して描いた。実際の光学装置は光軸 5 0 9 を回転軸とした回転対称となる。また本発明と直接には関係しない検出光学装置の部分は省いた。

【 0 0 8 7 】

第 5 の実施形態における光学装置は、波長 7 8 0 n m 程度の直線偏光レーザー光源 5 0 1 から出射し、コリメートレンズ 5 0 2 で平行平面波にされた直線偏光レーザー光 5 0 3 は液晶空間光変調素子 5 0 4 に入射する。液晶空間光変調素子 5 0 4 はその液晶分子配向軸は直線偏光レーザー光源 5 0 1 の偏光軸方向とほぼ一致し共に Y 軸方向である。また液晶空間光変調素子 5 0 4 は少なくともホモジュニアス型液晶素子から構成される回折型レンズ素子 5 0 5 として機能する部位 (左斜線表示) と 9 0 度ツイストネマティック液晶から構成され旋光光学素子 5 0 6 として機能する部位 (右斜線表示) から構成される。さらに、それぞれの機能は、電源 5 1 1 から供給される電気信号により制御される。また回折型レンズ素子 5 0 5 として機能する部位は焦点距離 f_1 のレンズとして機能し、旋光光学素子 5 0 6 として機能する部位は他の部位と比べ入射直線偏光の偏光軸を 9 0 度回転する機能を持つ。また旋光光学素子 5 0 6 として機能する部位は集光レンズ 5 0 7 の光軸を中心としたほぼ円形領域 5 0 8 に作用する。

【 0 0 8 8 】

ここで、図 1 4 を用いて、回折型レンズ素子について説明する。

【 0 0 8 9 】

図 1 4 は一般的なバイナリー型のおよそ透明な位相型回折格子による光の回折現象を表したもので、簡単なため平面に投影した断面図で描いてある。ピッチ P で繰り返し n_1 と n_2 の異なる屈折率を持った厚さ d の位相型回折格子 1 4 0 1 にレーザー光 1 4 0 2 が入射すると、回折効果により出射レーザー光が回折を起こす。ここでは簡単のためレーザー

10

20

30

40

50

光 1 4 0 2 は位相型回折格子 1 4 0 1 に対して垂直に入射とする。このとき普通は、そのまま素通りする光である 0 次光 1 4 0 3 と、それぞれ θ 方向及び $-\theta$ 方向に回折する 1 次光 1 4 0 4 及び -1 次光 1 4 0 5 が発生する（より回折角の大きい高次の回折光も発生するが、割合が小さいため無視した）。このとき回折角 θ は $\sin(\theta) = \lambda / P$ で決定される。ここで λ はレーザー光 1 4 0 2 の波長である。

【 0 0 9 0 】

このときレーザー光 1 4 0 2 に対する n_1 と n_2 の領域の面積がほぼ等しく、光路長差 $(n_1 - n_2) \times d$ が $\lambda / 2$ であるときこれをロンキー格子といい 0 次光 1 4 0 3 は消滅する事が知られている。また光路長差 $(n_1 - n_2) \times d$ が λ でかつピッチ P で繰り返して屈折率を n_1 から n_2 まで連続的に滑らかに変化させたとき、これをブレード格子と
10
いい 1 次光 1 4 0 4 のみが発生する事が知られている。また実際は n_1 から n_2 まで 16 ステップ以上で段階的に変化させればほぼ理想的なブレード格子になる事も知られ、これをマルチレベルバイナリー格子という。また一般に位相型回折格子は不透明な部分のある振幅型回折格子より光利用効率が高く有利である。一般的に知られるように、この回折格子のピッチを連続的に変えていけば、様々なレンズ効果を持たせることが可能で、その代表的なものはフレネルレンズである。

【 0 0 9 1 】

そこで、液晶フレネルレンズを用いた回折型レンズ素子の動作原理について図 1 5 に基づいて説明する。簡単のため断面図で描いたが、実際は光軸 1 5 0 3 を回転軸とした回転対称形である。液晶フレネルレンズ 1 5 0 1 には焦点距離 f_1 のレンズとして機能するフ
20
レネルレンズのパターンを持った透明電極が形成され、透明電極に適当な電圧を与えることで液晶フレネルレンズ 1 5 0 1 がレンズとして機能する。このときこの光学装置の焦点距離は液晶フレネルレンズ 1 5 0 1 と集光レンズ 1 5 0 2 の合成焦点距離となり、レーザー光 1 5 0 4 は P_2 点に集光する。また電圧を与えないときは液晶フレネルレンズ 1 5 0 1 はレンズとして機能しないため、この光学装置の焦点距離は集光レンズ 1 5 0 2 の焦点距離となり、レーザー光 1 5 0 4 は P_1 点に集光する。従って液晶フレネルレンズ 1 5 0 1 に電圧を与える前後で、この光学装置の焦点距離すなわち開口数を変えたことになる。

【 0 0 9 2 】

つぎに、本発明の第 5 の実施形態で採用される液晶空間光変調素子 5 0 4 について図 1 6 (a) 及び (b) を用いて説明する。図 1 6 (a) 及び (b) は電氣的に制御可能な液
30
晶空間光変調素子 5 0 4 の断面構造を描いたものである。光軸近傍は、90 度ツイストネマティック型液晶素子 1 6 0 3 により構成され、光軸近傍以外は、のホモジェニアス型液晶素子 1 6 0 2 により構成されている。それぞれの素子の機能については、本発明の第 2 の実施形態において説明したものと同一である。

【 0 0 9 3 】

また片側のガラス基板には輪帯状の透明電極 1 6 1 0 が異なるピッチで形成されている。またもう片方のガラス基板には透明電極がほぼ全面にコートされている。このときこの液晶空間光変調素子 5 0 4 に Y 軸方向の直線偏光レーザー光 1 6 0 4 が入射する。

【 0 0 9 4 】

このとき図 1 6 (a) に示すように液晶空間光変調素子 5 0 4 に電圧が加えられていないときは直線偏光レーザー光 1 6 0 4 に対して屈折率が一様に n_1 となる。従って回折は起こらず直線偏光 1 6 0 4 は素通りして出射光 1 6 1 1 になる。ただし、光軸近傍では、90 度配向軸が旋回され、これにより前述したように超解像が生じることとなる。ただし、厳密には透明電極 1 6 1 0 によりわずかな回折を生じてしまうが、透明電極 1 6 1 0 の屈折率と液晶素子の長軸方向の屈折率とが同じになるようにすれば透明電極 1 6 1 0 による回折は生じない。

【 0 0 9 5 】

次に図 1 6 (b) に示すように、透明電極 1 6 1 0 間に電源 1 6 0 9 から十分な電圧を加えると電圧を加えた部分の液晶素子は Z 軸方向の電界によりホメオトロピック状態となる。その結果、直線偏光 1 6 0 4 に対し異なるピッチで屈折率が n_1 と n_2 を繰り返す構
40
50

造となる。従って図 1 4 と同様のバイナリー型の位相型回折格子として機能し、0 次光 1 6 0 5、1 次光 1 6 0 6、及び - 1 次光 1 6 0 7 が発生する。この際、前述したロンキー格子の条件を満たせば 0 次光 1 6 0 5 は発生しない。また前述したマルチレベルバイナリー格子の条件を満たせば 1 次光 1 6 0 6 しか発生しない。しかしマルチレベル化のためには透明電極 1 6 1 0 をより細かなピッチで刻み、かつ段階的に電圧を変化させて加える必要がある。

【 0 0 9 6 】

次に前記液晶空間光変調素子 5 0 4 の電極形状について図 1 7 を用いて説明する。前記液晶空間光変調素子の電極は、中央に円形領域 1 7 0 1 と、その外周部に中心を円形領域 1 7 0 1 と同じくする同心円状の複数の輪帯が配置された輪帯領域 1 7 0 2 とを有し、それぞれが端子電極 1 7 0 3 に接続されている。但し、模式的に表したため輪帯の数は 4 本しか描かれていないが、実際は数十から数百本の輪帯がある。端子電極 1 7 0 3 を介して電気信号が加えられると、輪帯領域 1 7 0 2 は回折型レンズとして機能し、同時に円形領域 1 7 0 1 は旋光性が消失する。

【 0 0 9 7 】

ここで図 5 に戻り、本発明の第 5 の実施形態における動作について説明する。最初に回折型レンズ素子 5 0 5 の機能は停止し、旋光光学素子 5 0 6 の機能を有効とする。このとき旋光光学素子 5 0 6 を通過した直線偏光と回折型レンズ素子 5 0 5 を通過した直線偏光は互いに直交するため超解像が生じる。またこの際この光学装置の開口数は集光レンズ 5 0 7 により決定されることがわかる。また実験では 1 5 % 程度の超解像を行うなら直線偏光レーザー光 5 0 3 の光束に対する旋光光学素子 5 0 6 の断面割合は 2 0 % 程度となる。この状態を D V D の読み書きに用いる。

【 0 0 9 8 】

この場合、偏光選択手段としての直線偏光検波素子 5 1 0 により、本発明の第 2 の実施形態で説明したように超解像光スポットのサイドローブが除去される。なお、図 5 においては、光検出部分を省略したため、直線偏光検波素子 5 1 0 を集光レンズ 5 0 7 と液晶空間光変調素子 5 0 4 との間に配置したが、本発明の第 4 の実施形態の場合と同ように、他の位置に配置することも可能である。

【 0 0 9 9 】

次に旋光光学素子 5 0 6 の機能は停止し、回折型レンズ素子 5 0 5 の機能を有効とする。この状態では超解像は生じなくなる。またこのとき、この光学装置の焦点距離は回折型光学素子 5 0 6 と集光レンズ 5 0 7 の合成焦点距離となり、集光レンズ 5 0 7 のみの場合と比較して開口数を変えたことになる。このことは別の解釈をすれば、集光レンズ 5 0 7 で C D を読み取るときに発生する球面収差を回折型レンズ素子で補正すると考えることができる。この状態を C D の読み取りに用いる。

【 0 1 0 0 】

厳密に言えば、回折型レンズ素子 5 0 5 の中心部分は旋光光学素子 5 0 6 であるためレンズとしての作用はほとんどない。しかし、D V D と C D の開口数切り替えに必要な回折型レンズ素子の焦点距離は数十 m m から数百 m m であるため、もともと中心付近はレンズとしての作用はあまり必要ない。これは先の別解釈によれば C D の読み取り時に生じる球面収差はレンズ口径の 3 乗に比例し、中心付近はあまり影響しない。更に先に述べたように 1 5 % 程度の超解像を行う場合は、旋光光学素子 5 0 6 が中心付近にしめる断面割合は 2 0 % 程度のためあまり影響がない。

【 0 1 0 1 】

前述の説明で明らかなように、回折型レンズ素子 5 0 5 の機能と旋光光学素子 5 0 6 の機能を制御することで光学装置の実効的な開口数を切り替え、レーザーの実効的な波長を切り替え可能となる。また回折型レンズ素子 5 0 5 を動作させた状態を D V D の読み書き用の開口数に設定することも可能だが、この場合は回折型レンズ素子の効率を高くしないと D V D への書き込みが必要な場合は光パワーが不足する。

【 0 1 0 2 】

なお、本発明の第5の実施形態においては、回折型レンズ素子505の機能と旋光光学素子506の機能を同時に発生させているが、別々に発生させるように電氣的に制御することも可能である。

【0103】

例えば、780nmの波長の半導体レーザー光源を用い、公知のDVD用のピックアップレンズを用い、旋光光学素子506の機能のみを発生させて超解像光スポットによりDVDの読取りを行う。また同じ光源及び同じピックアップ用レンズを用いて、回折型レンズ素子505の機能のみを発生させてDVD用のピックアップレンズの球面収差を補正し、CD又はCD-Rの読取り又は書き込みを行うことが可能である。

【0104】

特に本発明の第3～第5の実施形態においては、本発明を光ディスクのピックアップ用に応用した場合について記載したが、本発明は、他の、例えば測定機器、記録用の機器、パワーレーザー応用の機器等のさまざまな機器に応用できることは言うまでも無い。

【0105】

また、上記の第1～第5の実施形態においては、偏光選択手段によって、サイドローブを除去する方法又は装置について述べた。しかしながら、同様の方法及び装置により、サイドローブの成分を除去することも可能である。サイドローブの成分とは、光スポットのサイドローブが光ディスクのピットや傷等に反射して（散乱や回折等により）、サイドローブの山が崩れ、その一部がメインローブ中に含まれたものを言う。前述したように、サイドローブの成分もサイドローブと同様にメインローブの方位とは異なった方位を有していることから、同様の偏光選択手段によって除去することが可能である。

【0106】

今までの説明から明らかなように、本発明による偏光選択手段として旋光光学素子を用いた光学装置においては、簡単な構成で超解像特有のサイドローブ又はその成分を消去することができる。すなわちサイドローブ又はその成分を中心のスポットに取り込んでしまうのではなく、完全に除去することが可能でサイドローブのない超解像が実現できる。

【0107】

また本発明における液晶素子は現在の複雑な構造を持ったパソコン用等の液晶表示パネルと比べ、サイズも小さく非常に簡単な構造のため特に大きなコストアップにはならない。また偏光選択手段も市販の液晶装置に使われている安価な物をそのまま使う事が可能である。さらに、従来の技術に見られるように集光スポット位置に集光スポットのサイドローブのみを遮光するようなスリットを挿入する方法と比べて位置合わせも非常に簡単である。

【0108】

また、本発明を光ディスクのピックアップ光学装置に応用する場合においては、直線偏光検波素子を旋光光学素子の直後に設置する必要は必ずしもない。この場合は光信号検出器の手前に直線偏光検波素子を設置すればよい。その結果、光ディスク上に光スポットが集光される途中に直線偏光検波素子を設置する必要がないため光利用効率が高くなる利点がある。

【0109】

また、本発明においては電気信号で簡単に超解像と通常解像を切り替えられるので、従来の780nmと650nmの2本のレーザーを必要としたDVD-CD兼用の光ピックアップに比べて、780nmのレーザー1本でDVD-CD兼用の読取り等の処理が可能となる。

【0110】

また、本発明による超解像を行うことにより、単純に開口率を上げるのに比べて、同じ光スポットを得た場合にも、その焦点深度が10～20%アップすることから、光ピックアップのオートフォーカスのサーボマージンが上がる利点がある。さらに、単純に開口率を上げるのに比べて、コマ収差の発生も押さえることが可能となるという利点がある。

【0111】

また、レーザー光源がいくら短波長になろうとも、レンズの開口率 NA がいくら大きくなろうとも、本発明による超解像を用いれば、そのような光学装置においてサイドローブを気にすることなく、更に光スポット径を20%程度細くすることができ、しかも必要に応じて超解像と通常解像を電氣的に可動部なく簡単に切り替えられるという利点がある。

【0112】

また、本発明によるサイドローブの除去方法及び装置は、散乱や回折等の理由でサイドローブの山が崩れ、その一部がメインローブに入ったとしても、そのようなサイドローブの成分をも除去できるという利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施形態における光学装置の構成例である。

10

【図2】 本発明の第2の実施形態における光学装置の構成例である。

【図3】 本発明の第3の実施形態における光学装置の構成例である。

【図4】 本発明の第4の実施形態における光学装置の構成例である。

【図5】 本発明の第5の実施形態における光学装置の構成例である。

【図6】 超解像光装置の原理を説明する図である。

【図7】 超解像光装置により作られる光スポットを説明する図である。

【図8】 本発明の光学装置により作られる光スポットを説明する図である。

【図9】 本発明の光学装置により作られる光スポットの強度を説明する図である。

【図10】 本発明の超解像された光スポットの偏光状態を表す図である。

【図11】 本発明に採用される液晶の作用を表した図である。

20

【図12】 液晶素子を用いた旋光光学素子の構成を表した図である。

【図13】 一般的な液晶の特性を示したグラフである。

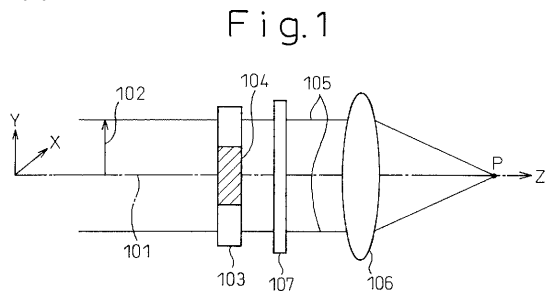
【図14】 バイナリー型の位相型回折格子による光の回折現象を説明した図である。

【図15】 液晶フレネルレンズを用いた可変焦点光学装置の原理を説明する図である。

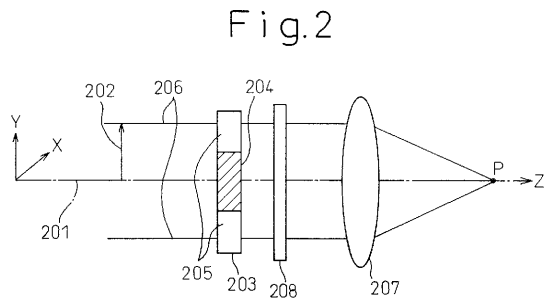
【図16】 本発明に採用される液晶空間光変調素子の基本的な断面構成を示した図である。

【図17】 本発明に採用される液晶空間光変調素子の透明電極形状を表した図である。

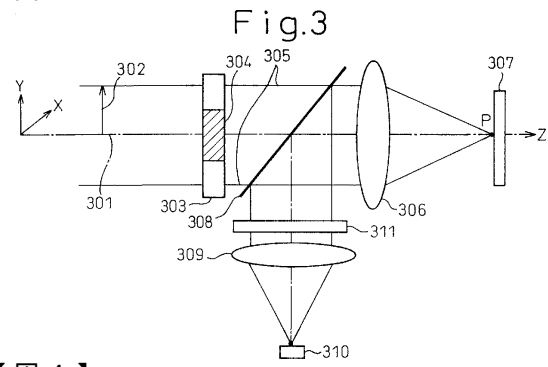
【図1】



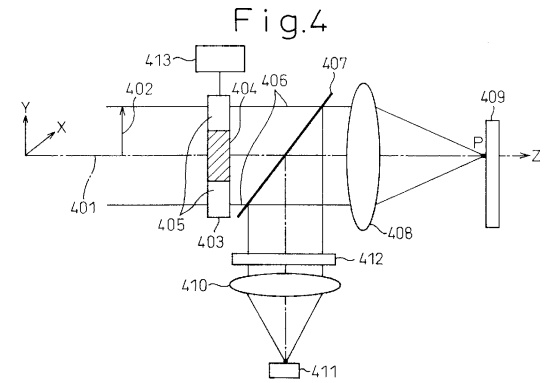
【図2】



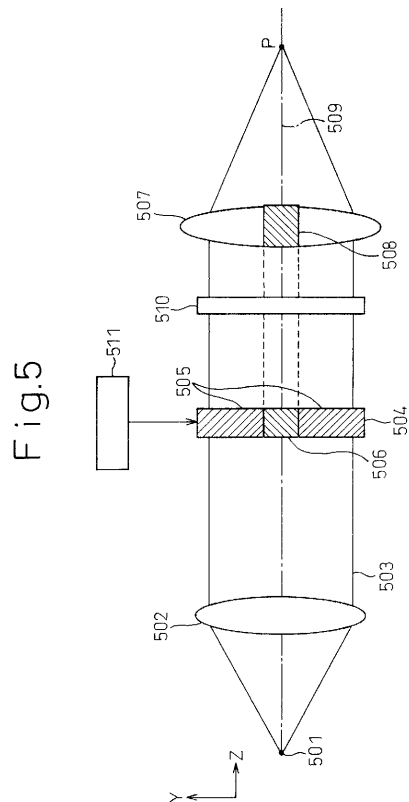
【図3】



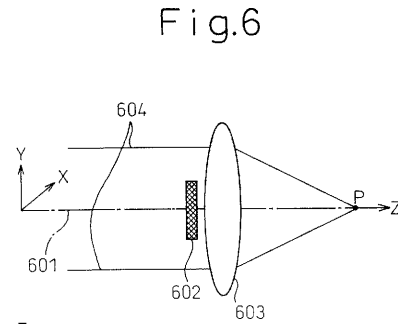
【図4】



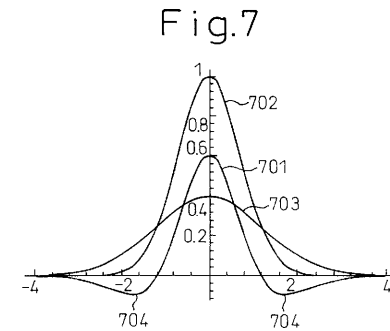
【図5】



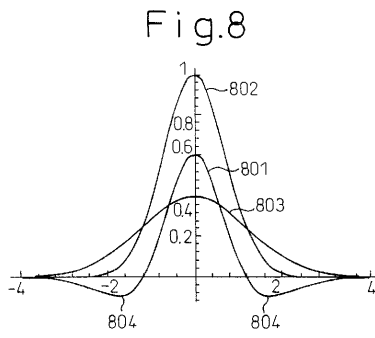
【図6】



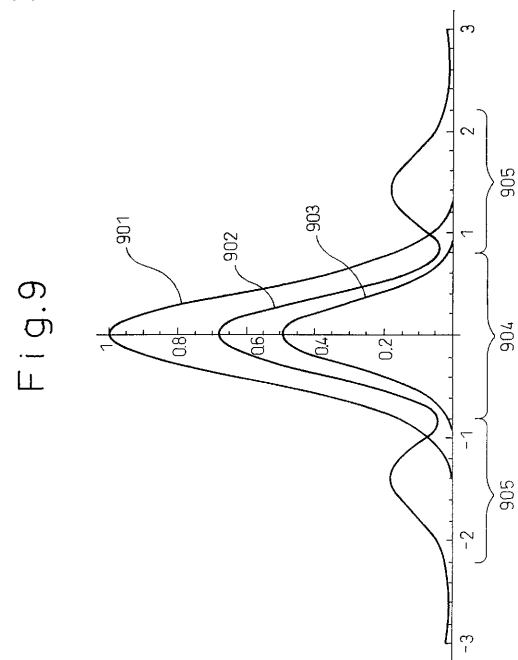
【図7】



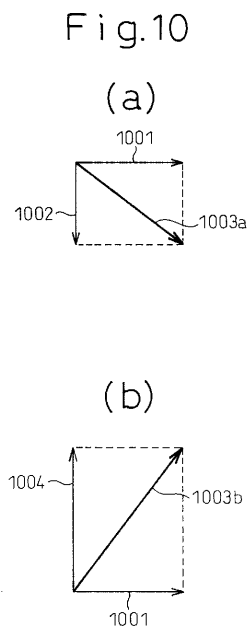
【図 8】



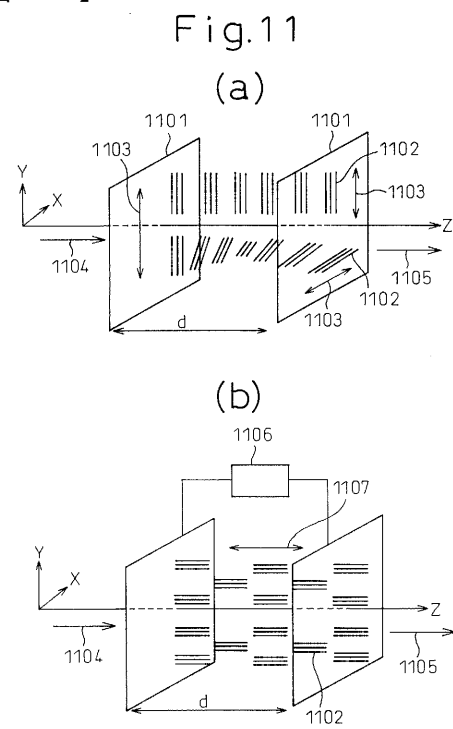
【図 9】



【図 10】

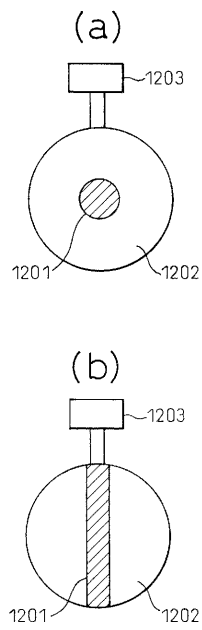


【図 11】



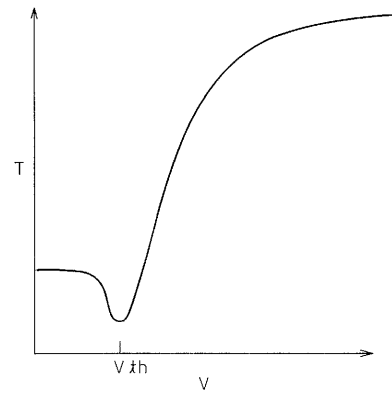
【図 1 2】

Fig.12



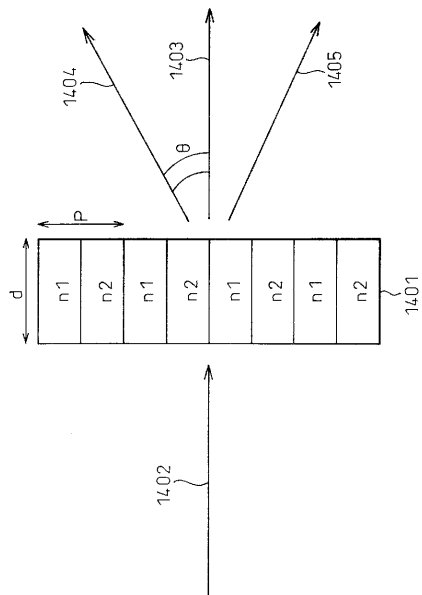
【図 1 3】

Fig.13



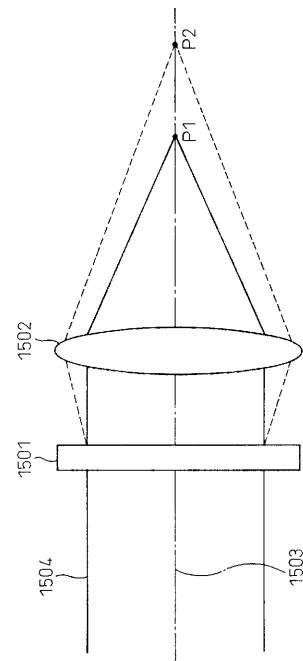
【図 1 4】

Fig.14

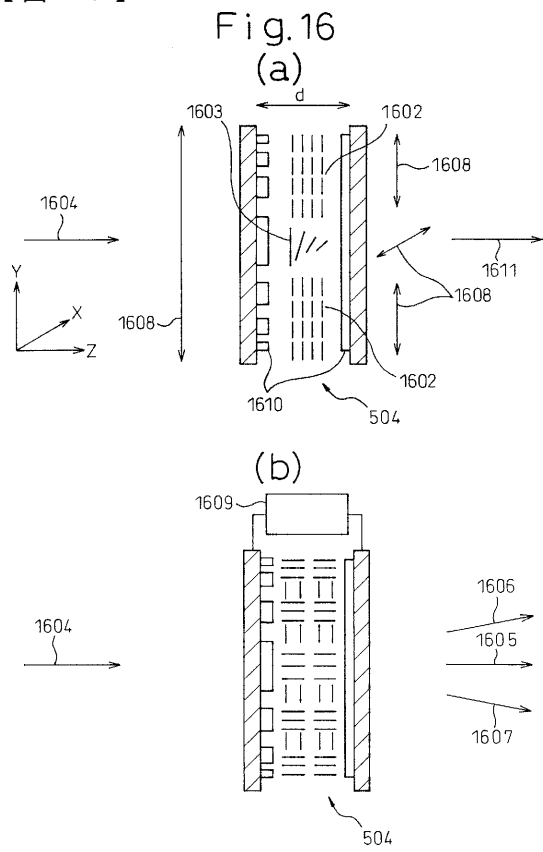


【図 1 5】

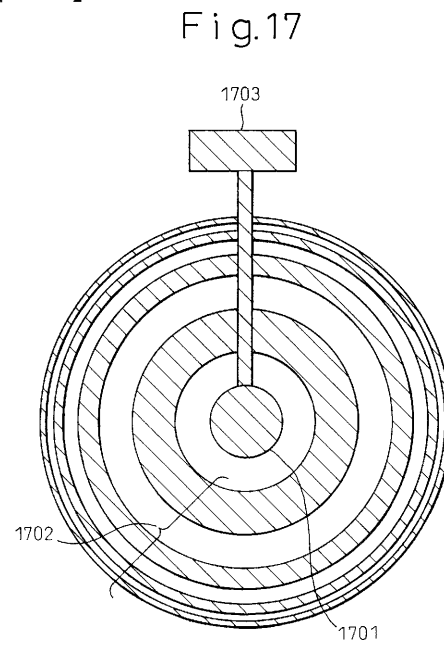
Fig.15



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(72)発明者 橋本 信幸

埼玉県所沢市大字下富字武野 8 4 0 番地 シチズン時計株式会社 技術研究所内

審査官 植田 高盛

(56)参考文献 特開 2 0 0 0 - 2 1 5 5 0 6 (J P , A)

国際公開第 9 9 / 1 3 4 6 4 (W O , A 1)

国際公開第 9 8 / 1 5 9 5 2 (W O , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G02B 27/28