

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-12379

(P2006-12379A)

(43) 公開日 平成18年1月12日(2006.1.12)

(51) Int.CI.	F 1	テーマコード (参考)
G 11 B 7/135 (2006.01)	G 11 B 7/135	A 2 H 087
G 02 B 13/00 (2006.01)	G 11 B 7/135	Z 5 D 789
G 11 B 7/22 (2006.01)	G 02 B 13/00 G 11 B 7/22	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2005-23916 (P2005-23916)	(71) 出願人	000002185 ソニー株式会社 東京都品川区北品川6丁目7番35号
(22) 出願日	平成17年1月31日 (2005.1.31)	(74) 代理人	100122884 弁理士 角田 芳末
(31) 優先権主張番号	特願2004-152462 (P2004-152462)	(74) 代理人	100113516 弁理士 磯山 弘信
(32) 優先日	平成16年5月21日 (2004.5.21)	(72) 発明者	篠田 昌孝 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソ ニー株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	F ターム (参考)	2H087 KA13 LA01 NA00 PA01 PA17 PB01 QA01 QA07 QA11 QA31 UA00 5D789 AA01 AA03 AA38 BA01 CA22 JA44 NA05

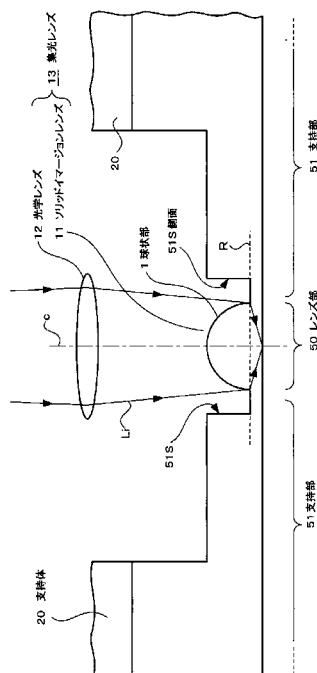
(54) 【発明の名称】ソリッドイメージョンレンズ、集光レンズ、光学ピックアップ装置、光記録再生装置及びソリッドイメージョンレンズの形成方法

(57) 【要約】

【課題】従来の加工方法では実現し得なかった小径のソリッドイメージョンレンズを形成することができ、また十分な保持を可能とするソリッドイメージョンレンズとその形成方法を提案し、ニアフィールド光記録再生用に用いて好適なソリッドイメージョンレンズを提供する。

【解決手段】ソリッドイメージョンレンズ11において、その少なくとも一部、例えば球状部1の一部を、支持部51と一体に形成して構成する。

【選択図】図6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

少なくとも一部が、支持部と一体に形成されて成ることを特徴とするソリッドイマージョンレンズ。

【請求項 2】

上記支持部は、上記ソリッドイマージョンレンズの球状部と対向する側面が、上記ソリッドイマージョンレンズに入射される入射光に略沿う傾斜面とされたことを特徴とする請求項 1 記載のソリッドイマージョンレンズ。

【請求項 3】

上記ソリッドイマージョンレンズの対物側に、凸状部が設けられて成ることを特徴とする請求項 1 記載のソリッドイマージョンレンズ。 10

【請求項 4】

上記ソリッドイマージョンレンズの対物側に、凸状部が設けられて成ることを特徴とする請求項 2 記載のソリッドイマージョンレンズ。

【請求項 5】

ソリッドイマージョンレンズと、該ソリッドイマージョンレンズと光軸を合致させ、対物側とは反対側に配置された光学レンズとより構成された集光レンズにおいて、

上記ソリッドイマージョンレンズは、その少なくとも一部が、支持部と一体に形成されて成ることを特徴とする集光レンズ。 20

【請求項 6】

ソリッドイマージョンレンズと、該ソリッドイマージョンレンズと光軸を合致させて対物側とは反対側に配置された光学レンズと、光源とが少なくとも設けられ、上記ソリッドイマージョンレンズ及び光学レンズから成る集光レンズによって上記光源からの出射光を収束させて光スポットを形成する光学ピックアップ装置において、

上記ソリッドイマージョンレンズは、その少なくとも一部が、支持部と一体に形成されて成ることを特徴とする光学ピックアップ装置。 30

【請求項 7】

ソリッドイマージョンレンズと、該ソリッドイマージョンレンズと光軸を合致させて対物側とは反対側に配置された光学レンズと、光源とが少なくとも設けられ、上記ソリッドイマージョンレンズ及び光学レンズから成る集光レンズによって上記光源からの出射光を収束させて光スポットを形成する光学ピックアップ装置を有し、上記集光レンズを光記録媒体のフォーカシング方向及び／又はトラッキング方向に制御駆動する制御駆動手段が設けられて成る光記録再生装置において、

上記ソリッドイマージョンレンズは、その少なくとも一部が、支持部と一体に形成されて成ることを特徴とする光記録再生装置。 40

【請求項 8】

ソリッドイマージョンレンズの形成方法において、
レンズ材料体を薄くスライスして薄板を形成する工程と、
上記薄板に凹部を形成する工程と、

上記凹部に上記ソリッドイマージョンレンズの球状部を形成する工程とを少なくとも有する

ことを特徴とするソリッドイマージョンレンズの形成方法。

【請求項 9】

上記凹部の上記ソリッドイマージョンレンズの球状部と対向する側面を、上記ソリッドイマージョンレンズに入射される入射光に略沿う傾斜面として形成することを特徴とする請求項 8 記載のソリッドイマージョンレンズの形成方法。

【請求項 10】

10

20

30

40

50

上記ソリッドイマージョンレンズの周囲の凹部をフォーカスイオンビーム加工方法により加工する

ことを特徴とする請求項 8 記載のソリッドイマージョンレンズの形成方法。

【請求項 11】

上記ソリッドイマージョンレンズの周囲の凹部をフォーカスイオンビーム加工方法により加工する

ことを特徴とする請求項 9 記載のソリッドイマージョンレンズの形成方法。

【請求項 12】

上記ソリッドイマージョンレンズの対物側に、凸状部を形成する工程を有することを特徴とする請求項 8 記載のソリッドイマージョンレンズの形成方法。

10

【請求項 13】

上記ソリッドイマージョンレンズの対物側に、凸状部を形成する工程を有することを特徴とする請求項 9 記載のソリッドイマージョンレンズの形成方法。

【請求項 14】

上記ソリッドイマージョンレンズの対物側に、凸状部を形成する工程を有することを特徴とする請求項 10 記載のソリッドイマージョンレンズの形成方法。

【請求項 15】

上記ソリッドイマージョンレンズの対物側に、凸状部を形成する工程を有することを特徴とする請求項 11 記載のソリッドイマージョンレンズの形成方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ソリッドイマージョンレンズ (Solid Immersion Lens: 固浸レンズ) と、これを用いた集光レンズ、光学ピックアップ装置及び光（もしくは光磁気）記録再生装置、またソリッドイマージョンレンズの形成方法に関し、さらに詳しくは、光学レンズの屈折率が大なる材料を用いて集光レンズの開口数を大にして光（もしくは光磁気）記録媒体に記録再生を行ういわゆるニアフィールド光記録再生方式に好適なソリッドイマージョンレンズ、集光レンズ、光学ピックアップ装置、光記録再生装置及びソリッドイマージョンレンズの形成方法に関するものである。

【背景技術】

30

【0002】

C D (Compact Disc)、M D (Mini Disc)、D V D (Digital Versatile Disc) に代表される光記録媒体（光磁気記録媒体を含む）は、音楽情報、映像情報、データ、プログラム等の格納媒体として広く利用されている。しかしながら、更なる音楽情報、映像情報、データ、プログラム等の高音質化、高画質化、長時間化、大容量化のために、さらに大容量の光記録媒体及びこれを記録再生する光記録再生装置（光磁気記録再生装置を含む）が望まれている。

そこで、これらに対応するため、光記録再生装置では、その光源の例えは半導体レーザの短波長化や、集光レンズの開口数の増大化が図られ、集光レンズを介して収束する光スポットの小径化が図られている。

40

【0003】

例えは、半導体レーザに関しては、発振波長が従来の赤色レーザの 635 nm から 400 nm 帯に短波長化された G a N 半導体レーザが実用化され、これにより光スポットの小径化が図られつつある。また、例えはそれ以上の短波長化については、266 nm の単一波長の光を連続発振するソニー株式会社製の遠紫外固体レーザ U W - 1010 などが発売されており、更なる光スポットの小径化も図られつつある。また、これ以外にも N d : Y A G レーザの 2 倍波レーザ (266 nm 帯)、ダイヤモンドレーザ (235 nm 帯)、G a N レーザの 2 倍波レーザ (202 nm 帯) などの研究、開発が進められている。

【0004】

また、ソリッドイマージョンレンズ (S I L) に代表される開口数の大なる光学レンズ

50

を使って、例えば開口数1以上の集光レンズを実現するとともに、この集光レンズの対物面を光記録媒体と、その光源波長の10分の1程度まで近接させることにより記録再生を行ういわゆるニアフィールド光記録再生方式が検討されている（例えば特許文献1参照。）。

【0005】

このニアフィールド光記録再生方式では、光記録媒体と集光レンズとの距離を精度良く光学的なコンタクト状態に維持することが重要である。また、光源から出射されて集光レンズに入射する光束径が小になるとともに、光記録媒体と集光レンズとの距離も數十nm以下程度と非常に小さくなるため、光記録媒体と集光レンズとの傾きマージン、いわゆるチルトマージンが非常に小さくなり、集光レンズは形状的に大きく制約されることになる。

10

【0006】

図22に、ソリッドイメージョンレンズの一例の概略構成図を示す。ソリッドイメージョンレンズ11と光学レンズ12とを、光記録媒体30などの対物側から順に配置して、ニアフィールド集光レンズを構成することができる。図22に示すように、ソリッドイメージョンレンズ11は、半球状又は超半球状（図示の例においては超半球状）に形成され、光軸に沿う厚さが例えば超半球状の場合は $r(1+1/n)$ 、半球状の場合は r として構成される。

【0007】

このような構成の集光レンズを例えば光記録再生装置に適用する場合は、2軸アクチュエータを有する光学ピックアップ装置に装着され、光記録媒体と集光レンズとの距離を光学的なコンタクト状態に維持する。光磁気記録に用いられる場合は、光学ピックアップ装置に、磁気記録再生に使用される磁気ヘッド装置が組み込まれ、同様に光記録媒体と集光レンズとの距離を光学的なコンタクト状態に維持する構成とされる。

20

【0008】

また、ソリッドイメージョンレンズの形状としては、上述の図22に示すように、対物面9を平面状とするほか、対物面を円錐状に加工した形状や、対物面の中心部分を残して磁気コイルをその周囲に設ける形状などが提案されている（例えば特許文献2参照。）。

【0009】

【特許文献1】特開平5-189796号公開公報

30

【特許文献2】特開2003-161801号公開公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

上述のニアフィールド光記録再生方式では、光記録媒体に対するフォーカシング方向及びトラッキング方向に制御駆動される集光レンズの安定制御を図るとともに、フォーカシングサーボやトラッキングサーボやシーク時間等のサーボ特性の向上を図るために、集光レンズ、特にソリッドイメージョンレンズの小型・軽量化が必要である。

【0011】

しかしながら、従来の加工方法による場合、すなわち、立方体形状の高屈折率材料をまずボール形状のレンズを加工し、これを更に超半球に加工したソリッドイメージョンレンズでは、小型・軽量化が難しい。これは、直径が0.5mm程度以下のボール形状のレンズを機械的な研磨手段によって加工し、またニアフィールド光記録再生に適用できる程度に精度良く角度制御して固定して、安定に保持することは非常に難しいことによる。

40

【0012】

上述の問題に鑑みて、本発明は、従来の加工方法では実現し得なかった小径のソリッドイメージョンレンズを形成することができ、また保持が容易で十分精度の良い組み立てが可能となるソリッドイメージョンレンズとその形成方法を提案し、ニアフィールド光記録再生用に用いて好適なソリッドイメージョンレンズとこれを用いた集光レンズ、光学ピックアップ装置、光記録再生装置及びソリッドイメージョンレンズの形成方法を提供する。

50

【課題を解決するための手段】**【0013】**

上記課題を解決するために、本発明によるソリッドイメージョンレンズは、その少なくとも一部が、支持部と一体に形成されて構成することを特徴とする。

また、本発明は、上述のソリッドイメージョンレンズにおいて、上記支持部は、上記ソリッドイメージョンレンズの球状部と対向する側面が、ソリッドイメージョンレンズに入射される入射光に略沿う傾斜面として構成されることを特徴とする。

また本発明によるソリッドイメージョンレンズは、その対物側に、凸状部を設ける構成とすることを特徴とする。

【0014】

また、本発明による集光レンズは、上述の本発明構成によるソリッドイメージョンレンズと、このソリッドイメージョンレンズと光軸を合致させ、対物側とは反対側に配置された光学レンズとより構成することを特徴とする。

更に、本発明による光学ピックアップ装置は、上述の本発明構成によるソリッドイメージョンレンズと、このソリッドイメージョンレンズと光軸を合致させて対物側とは反対側に配置された光学レンズと、光源とが少なくとも設けられ、ソリッドイメージョンレンズ及び光学レンズから成る集光レンズによって光源からの出射光を収束させて光スポットを形成する構成とすることを特徴とする。

また、本発明による光記録再生装置は、上述の本発明構成によるソリッドイメージョンレンズを用いた集光レンズを具備する光学ピックアップ装置を有し、集光レンズを光記録媒体のフォーカシング方向及び／又はトラッキング方向に制御駆動する制御駆動手段を設ける構成とすることを特徴とする。

【0015】

更に、本発明によるソリッドイメージョンレンズの形成方法は、レンズ材料体を薄くスライスして薄板を形成する工程と、この薄板に凹部を形成する工程と、凹部に上記ソリッドイメージョンレンズの球状部を形成する工程とを少なくとも有することを特徴とする。

【0016】

また、本発明によるソリッドイメージョンレンズの形成方法は、上述の工程に加えて、上記凹部のソリッドイメージョンレンズの球状部と対向する側面を、ソリッドイメージョンレンズに入射される入射光に略沿う傾斜面として形成することを特徴とする。

更に、本発明によるソリッドイメージョンレンズの形成方法は、ソリッドイメージョンレンズの周囲の凹部をフォーカスイオンビーム加工方法により加工する。

また、本発明によるソリッドイメージョンレンズの形成方法は、ソリッドイメージョンレンズの対物側に、凸状部を形成する工程を有することを特徴とする。

【発明の効果】**【0017】**

上述した本発明のソリッドイメージョンレンズによれば、その少なくとも一部において、支持部と一体に形成して構成することから、球状部の半径が従来に比して小径化されても、この一体に形成された支持部において、安定かつ制御性良く保持することが可能となり、ソリッドイメージョンレンズをその光軸角度などを精度良く調整して光学ピックアップ装置、光記録再生装置に組み立てることができる。

【0018】

また、上述のソリッドイメージョンレンズにおいて、特に支持部の球状部と対向する側面を、ソリッドイメージョンレンズに入射される入射光に略沿う傾斜面として形成することによって、入射光を遮ることなく球状部の周囲の加工体積を低減化することができる。したがって、この場合加工時間が最短となり、かつ、開口数が大なる集光レンズを容易に形成することが可能となる。

【0019】

また、本発明によるソリッドイメージョンレンズにおいて、対物側に凸状部を設けることによって、光記録媒体等の対象物との対向面積を低減化することができ、これにより傾

10

20

30

40

50

きマージンを大とすることができる。

【0020】

そして、上述のソリッドイマージョンレンズと光学レンズとより成る集光レンズを用いて構成される光学ピックアップ装置及び光記録再生装置では、ソリッドイマージョンレンズの小径化を図ることができること、また安定保持を可能とすることによって、光記録媒体のフォーカシング方向及びノ又はトラッキング方向に制御駆動される集光レンズの安定制御を図ることができるとともに、フォーカシングサーボやトラッキングサーボやシーク時間等のサーボ特性の向上を図ることが可能となる。

【0021】

また、本発明のソリッドイマージョンレンズの形成方法によれば、レンズ材料体をスライスして薄板を形成する工程と、この薄板に凹部を形成する工程と、凹部にソリッドイマージョンレンズの球状部を形成する工程とを少なくとも有することによって、球状部の少なくとも一部を支持部と一体化して成るソリッドイマージョンレンズを容易に形成することができる。

【0022】

また、本発明によるソリッドイマージョンレンズの形成方法において、上述の工程に加えて、凹部のソリッドイマージョンレンズの球状部と対向する側面を、ソリッドイマージョンレンズに入射される入射光に略沿う傾斜面として形成することにより、加工体積を低減化し、最短時間での加工形成を可能とし、上述の本発明構成のソリッドイマージョンレンズの生産性の向上を図ることができる。

【0023】

更に、上述のソリッドイマージョンレンズの形成方法において、ソリッドイマージョンレンズの周囲の凹部をフォーカスイオンビーム加工方法により加工することによって、確実に精度良くソリッドイマージョンレンズの球状部を加工形成することができる。

また、本発明によるソリッドイマージョンレンズの形成方法において、ソリッドイマージョンレンズの対物側に、凸状部を形成することによって、光記録媒体等の対象物との傾きマージンを大としたソリッドイマージョンレンズを容易に形成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

以下本発明を実施するための最良の形態の例を、図面を参照して説明する。

本発明は、ソリッドイマージョンレンズ及びその形成方法と、このソリッドイマージョンレンズと光軸を合致させ、対物側とは反対側に配置された光学レンズとで構成された集光レンズ、更にこの集光レンズを有し、いわゆるニアフィールド光記録再生方式を採用する光学ピックアップ装置と、この光学ピックアップ装置を有する光記録再生装置に適用することができる。

【0025】

まず、本発明によるソリッドイマージョンレンズ及びその形成方法の説明に先立って、これら集光レンズ、光学ピックアップ装置、光記録再生装置に適用した実施の形態の例について図1～図5を参照して説明する。なお、図1～図5において、ソリッドイマージョンレンズの形状は、その配置構成を容易に説明するために、本発明構成による一例を簡略化して示すものであるが、後述する図6以後の例を含む各種の本発明構成の形状を採り得るものであることはいうまでもない。

【0026】

図1は、本発明によるソリッドイマージョンレンズを用いた集光レンズの一例を示す概略構成図である。レンズの対象物の例えは光記録媒体30に対し、本発明構成によるソリッドイマージョンレンズ11、光学レンズ12をこの順に光軸を合致させて配置して構成する。ソリッドイマージョンレンズ11は、曲率半径rの半球状又は超半球状、図示の例では超半球状とされ、その光軸に沿う厚さは、半球状の場合はr、図1に示すように超半球状とする場合は、 $r(1+1/n)$ とされる。このような構成とすることによって、光学レンズ12の開口数NAを超える高開口数の集光レンズ13を提供することができる。

10

20

30

40

50

なお、実際にはソリッドイメージョンレンズ11と光記録媒体30とは互いに接触してはいないが、これらソリッドイメージョンレンズ11及び光記録媒体30の間隔はソリッドイメージョンレンズ11の厚さと比較して十分に小さいため図1～図5においてはその間隔を省略して示す。

【0027】

図2は、図1に示すソリッドイメージョンレンズ及び集光レンズを用いた光学ピックアップ装置の光学系の一形態を示す概略構成図である。図示しない光源及びフォトディテクタと、ソリッドイメージョンレンズ11及び光学レンズ12より成る集光レンズ13との間に、例えば第1及び第2のビームスプリッタ14及び15が配置される。光記録媒体30は、例えばディスク状であれば、図示を省略するスピンドルモータに装着され、所定の回転数で回転される。10

【0028】

また、図1及び図2に示す光学ピックアップ装置には、集光レンズ13をトラッキング方向及びフォーカシング方向に制御駆動する手段が設けられる。

この手段としては、例えば一般的な光学ピックアップに用いられる2軸アクチュエータや、磁気ヘッド装置等に用いられるスライダ等が挙げられる。

これら集光レンズ13の制御駆動手段の形態を次に示す。

【0029】

図3は、制御駆動手段として2軸アクチュエータを用いた光学ピックアップ装置の一例の概略構成図である。図3に示すように、集光レンズ13は、そのソリッドイメージョンレンズ11及び光学レンズ12の光軸を合致させてソリッドイメージョンレンズ11の保持部と光学レンズ12とが保持部19に固定されて構成され、この集光レンズ13がフォーカシング方向及び/又はトラッキング方向に制御駆動される2軸アクチュエータ16に固着されている。20

図3に示すように、2軸アクチュエータ16は、集光レンズ13をトラッキング方向に制御駆動させるトラッキング用コイル17と、フォーカシング方向に制御駆動させるフォーカシング用コイル18により構成される。

【0030】

そしてこの2軸アクチュエータ16により、光記録媒体30とソリッドイメージョンレンズ11との距離を、例えば戻り光量をモニタし、その距離情報をフィードバックすることにより制御可能とし、ソリッドイメージョンレンズ11と光記録媒体30との距離をほぼ一定に保つようになされ、かつこのソリッドイメージョンレンズ11と光記録媒体30との衝突を避けるように制御される。30

また、この2軸アクチュエータ16において、トラッキング方向に戻り光量をモニタし、その位置情報をフィードバックすることにより、集光スポットを所望の記録トラックに移動させることが可能である。

【0031】

次に、図1及び図2に示した集光レンズ13の制御駆動手段として、スライダを採用した場合の概略構成図を図4に示す。

図4に示すように、集光レンズ13(図示の例においてはソリッドイメージョンレンズ11)を、トラッキング方向に制御駆動されるスライダ21に固着して構成することもできる。このスライダ21は、例えば光記録媒体30の面触れ方向にのみ弾性を有するジンバル22等の弾性体、または図示を省略する他の弾性体を介し、トラッキング方向に移動する可動光学部(図示せず)に支持される。そしてこの可動光学部を、リニアモータ等で構成された制御駆動手段によりトラッキング方向に制御駆動することによって、所定のトラック上に集光レンズ13を対向させることができる。40

そして、光記録媒体30の回転に伴い発生する気体流が光記録媒体30とスライダ21との間に流れ込むとともに、弾性体の光記録媒体30側への押圧力と釣り合う気体薄膜が形成され、スライダ21が光記録媒体30に対して一定の距離、例えば50nmの距離を保ちつつ浮上するように構成される。すなわち、光記録媒体30を所定の回転数で回転さ50

せて光記録媒体30からの情報の再生時あるいは、光記録媒体30への情報の記録時において、集光レンズ13を構成するソリッドイメージョンレンズ11と光記録媒体30との距離を、スライダ32によりほぼ一定距離に保たれた状態とすることができます。

【0032】

以下、光学ピックアップ装置の概略構成について、再び図2を参照して説明する。光源、例えば半導体レーザから出射された往路光はコリメータレンズ(図示せず)により平行光に変換され(L1)、第1のビームスプリッタ14を透過し(L)、集光レンズ13を介して光記録媒体30の情報記録面に集光される。情報記録面で反射された復路光は集光レンズ13を透過し、第1のビームスプリッタ14で反射され(L2)、第2のビームスプリッタ15に入射する。そしてこの第2のビームスプリッタ15により分離された復路光(L3及びL4)は、フォーカシング用光検出器及び信号用光検出器(図示せず)に集光され、フォーカスシングエラー信号および再生ピット信号等が検出される。

【0033】

また、第2のビームスプリッタで反射された復路光は、トラッキング用光検出器にも集光され、トラッキングエラー信号が検出される。なお、必要に応じてこの光学ピックアップ装置には、光記録媒体30の面振れに対して、集光レンズ13を固着する2軸アクチュエータ、もしくはスライダが追従した残りのフォーカスエラー成分および集光レンズの組み立て工程時に発生した誤差成分を、2枚のレンズの間隔を変えることで補正することができるリレーレンズを、第1のビームスプリッタ14と光学レンズ12との間に挿入し構成してもよい。

【0034】

スライダ21にソリッドイメージョンレンズ11及び光学レンズ12が固着されている場合は、スライダ21が追従した残りのフォーカスエラー成分および集光レンズの組み立て工程時に発生した誤差成分を補正する手段として、集光レンズ13を構成するソリッドイメージョンレンズ11をスライダ21に固定し、光学レンズ12を例えば圧電素子等により光軸方向に可動するように構成してもよい。

【0035】

また、スピンドルモータが複数の光記録媒体を装着する手段を有する光記録再生装置の場合は、図5の概略構成図に示すように、光軸をほぼ90度曲げるミラー23をスライダ21に設ける構成が好適である。このような構成の光記録再生装置は、光記録媒体間の間隔を小とすることができるので、結果的に装置の小型化、薄型化を図ることができる。

【0036】

なお、上記した光学ピックアップ装置は、再生のみを行う再生専用、記録のみを行う記録専用、記録と再生の両方を行うことができる記録再生用を含むものである。また、上述した各光学ピックアップ装置は、光磁気記録方式と、ニアフィールド光再生方式を組み合わせることにより、その光ピックアップ装置の一部に磁気コイル等を組み込んだものを含む構成とすることもできる。また、光記録再生装置は、再生のみを行う再生専用装置、記録のみを行う記録専用装置、記録と再生の両方を行うことができる記録再生用装置を含むものである。

【0037】

次に、本発明構成のソリッドイメージョンレンズの形状について説明する。

上述したように、本発明によるソリッドイメージョンレンズは、図6にその一例を光学レンズと組み合わせた概略構成図を示すように、ソリッドイメージョンレンズ11において、その少なくとも一部、図示の例では球状部1の一部が支持部51と一緒に形成され、すなわち同じレンズ材料体から一緒に形成される構成とする。図示の例においては、球状部1は、その曲率半径がr、屈折率がn、光軸cに沿う方向の厚さが $r(1+1/n)$ とされ、光軸cと略直交する断面の半径がrである位置、すなわち図中破線Rで示す位置から対物側に向かう部分が支持部51と一緒に形成された例を示す。

なお、光軸cに沿う方向の厚さはrでもよい。この場合は、ソリッドイメージョンレンズ11を半球状とし、その一部を支持部と一緒に形成する例となる。

10

20

30

40

50

【0038】

このような構成のソリッドイマージョンレンズは、例えば図7A～Cにその工程図を示す本発明ソリッドイマージョンレンズの形成方法の一例により容易に形成することができる。

すなわち、図7Aに示すように、バルクのレンズ材料体60を薄くスライスして薄板を形成する工程と、図7Bに示すように、スライスした薄板61のこの場合第1の面61Aに凹部を形成する工程と、この凹部にソリッドイマージョンレンズの球状部を形成する工程とを少なくとも行うことによって、形成し得る。

なお、図示の例においては、薄板61の第1の面61Aの中央部に比較的広い第1の凹部62を形成し、この第1の凹部62内の例えは略中央部に第2の凹部63を設け、この第2の凹部62内に目的とするソリッドイマージョンレンズ11の球状部に対応するレンズ部50を設ける例を示す。

【0039】

このように、2段階の凹部を設けることによって、比較的広い領域の第1の凹部62を半導体プロセスなどで通常用いられるリソグラフィの技術を適用して容易かつ短時間に加工することができ、その後、ソリッドイマージョンレンズ11の周囲の比較的狭い第2の凹部63を、更に精度良くエッティング深さを制御し得る例えはフォーカスイオンビーム(FIB)法により加工形成することによって、加工時間の大幅な増加による生産性の低下を回避しつつ、支持部51と一緒に化されたソリッドイマージョンレンズ11を形成することができる。

【0040】

特に微細な球状部、また先端部の加工については、例えは日立製作所(株)製の集束イオンビーム加工観察装置FB-2100などを利用したFIB加工装置を利用するのが好適である。

このように、球状部等の微細形状部分をFIB法により形成することによって、直径数十nm程度の微小なスポットのイオンビームによって、容易かつ確実に球状部を精度良く形成し、かつその半径をミクロンオーダー程度に微小化することができ、これにより従来に比して小径の小型ソリッドイマージョンレンズを精度良く容易に形成することができる。

【0041】

なお、図6に示すように、この支持部51には例えはソリッドイマージョンレンズ11と離間する位置において固着面を設けることにより、2軸アクチュエータ、もしくはスライダ等の支持体20と堅牢かつ安定に固着することができる。

この場合、支持体20との固着面は、ソリッドイマージョンレンズ11の球状部の半径を0.5mm程度以下に微小化しても、十分角度及び位置制御を行い易い広さを確保することができるので、制御性良く、すなわち精度良く光軸に対する角度調整を行って組み立てることが容易となる。

【0042】

また、光磁気記録媒体に対するニアフィールド光記録再生方式においては、記録時及び/又は再生時に磁界が必要になることから、図示しないがソリッドイマージョンレンズの対物面の一部に磁気コイル等を取り付けて構成してもよい。

【0043】

このソリッドイマージョンレンズ11の材料としては、例えは用いられる光記録再生装置の装備するレーザ光源など、入射光の波長に対して屈折率が大きく、また透過率が大きくかつ光吸収が小さい材料が好適である。例えは、高屈折率ガラスであるオハラ株式会社製のS-LAH79や、高屈折率セラミックス、高屈折率単結晶材料であるBi₄Ge₃O₁₂、SrTiO₃、ZrO₂、HfO₂、SiC、ダイヤモンドなどが好適である。

特に、ダイヤモンド等の比較的硬度の高い材料を用いる場合において、直径0.5mm程度以下の小径のボール形状に加工しにくい場合は、本発明を適用することによって、割れ、欠けなどの損傷を抑制して、生産性良くソリッドイマージョンレンズを形成すること

10

20

30

40

50

ができる。

【0044】

また、これらのレンズ材料は、アモルファス構造、もしくは単結晶の場合には立方晶構造であることが望ましい。光学レンズ材料がアモルファス構造、もしくは立方晶構造である場合、その方位を精度良く合わせる必要がなく、光学レンズ作製のためのエッティングプロセスやポリッシングプロセスを容易に適用できるという利点がある。

【0045】

図6においては、ソリッドイメージョンレンズ11の球状部と対向する凹部の側面、すなわち支持部51の球状部と対向する側面51Sは、光軸cと略平行な垂直面として形成した場合を示す。この場合、その側面51Sは、ソリッドイメージョンレンズ11の球状部1に入射される入射光Liを妨げないように、球状部1の周縁部すなわち破線Rで示す位置から離間して形成する。10

【0046】

これに対し、例えば図8にソリッドイメージョンレンズ11の他の実施の形態例を示すように、ソリッドイメージョンレンズ11の球状部1と対向する支持部51の側面51Sを、ソリッドイメージョンレンズ11に入射される入射光に略沿う傾斜面として構成としてもよい。図8において、図6と対応する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。20

【0047】

このような構成とすることによって、ソリッドイメージョンレンズ11に入射されるレーザ光等の入射光を遮ることのない形状としつつ、側面51Sを球状部11の周縁部に近接させることができ、この球状部11の周囲の加工体積を低減化することができて、加工時間を短縮して生産性を向上させることが可能となる。20

【0048】

これら図6に示す例と図8に示す例における球状部11の周囲の加工体積を比較するために、図9及び図10において、球状部11の周囲の加工部の一断面を、それぞれ斜線を付して示す。図9及び図10において、図6及び図8と対応する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。

先ず、図9に示すように、球状部11と対向する側面51Sを光軸cと略平行な垂直面として形成する場合は、ソリッドイメージョンレンズ11に入射角度iをもって入射される光Liを妨げないように、側面51Sを球状部1の周縁部、すなわち破線Rと交差する位置からやや離間させて形成する。30

【0049】

ここで、光学レンズ12の開口数をNAとしたとき、この光学レンズ12から入射される入射光の入射角度iは、

$$i = \sin^{-1}(NA)$$

と表される。

例えば、光学レンズ12の開口数NA1が0.377であるとすると、入射光の入射角度iは22.14°となる。

【0050】

この光学レンズ12からの入射光を遮らない形状として側面51Sを形成するために、ソリッドイメージョンレンズ11の球状部1の破線Rと交差する周縁部から、側面51Sまでの間隔を7μm、球状部1の半径rを10μm、ソリッドイメージョンレンズ11の厚さr(1+1/n)を14μmとしたとき、斜線を付して示す加工部52の体積は、6982μm³程度となる。40

【0051】

一方、図10に示すように、側面51Sを入射光に略沿う傾斜面とし、その傾斜角度sを、上述の入射光の入射角度i(22.14°)と等しくするか、それよりも若干大きく、例えば加工マージンを5度として、sを約28°とすることができる。

この場合、加工体積を最小とし、かつ、入射光の光路を遮ることのない形状とできるの50

で、所定の開口数を有するソリッドイメージョンレンズを得ることができる。

【0052】

上述したように、例えば側面51Sの傾斜角度を28°とした場合は、球状部1の半径r及びソリッドイメージョンレンズ11の厚さを上述の例と同様とすると、加工部52の体積は $3600\mu\text{m}^3$ であり、図9において示す加工部の加工体積と比較して略半分程度に低減化することができることがわかる。

【0053】

特に、集光レンズの小型、軽量化のためにソリッドイメージョンレンズの小径化を図る場合は、微小な球状部1の周囲を精度良く加工するために、上述したFIB法によりエッティングすることが望ましい。しかしながら、このFIBによる加工においては、その加工ビーム径が、数nmから数十nmであるために、球状部1周囲の加工部の体積が大であると、エッティングに非常に時間がかかるてしまい、実用的でないという問題がある。10

【0054】

しかしながら、上述したように、球状部1と対向する側面51Sを、この球状部1に入射する入射光に略沿う角度の傾斜面とすることによって、図9に示す例と図10に示す例において斜線を付して示す領域の面積の比から容易に予想されるように、加工体積を格段に低減化することができ、FIBを用いることによる加工時間の増加を抑えることができる。

これにより、従来に比して非常に微小な球状部を有するソリッドイメージョンレンズを実現できる。例えば、球状部の直径を数μmから数百μm程度までのソリッドイメージョンレンズが形成可能で、従って、非常に小型で軽量なソリッドイメージョンレンズ及びこれと光学レンズと組み合わせた開口数の大なる集光レンズを提供することができ、更には、小型・軽量な光ピックアップ装置が実現できる。20

【0055】

また、図8～図10に示す例においては、ソリッドイメージョンレンズ11の対物側の先端部5に、凸状部2を設けた場合を示す。

このように対物側に凸状部2を設ける構成とすることによって、ソリッドイメージョンレンズ11を光学ピックアップ装置に適用して光記録媒体に対向して高速で相対移動させる際に、媒体に対するいわゆる傾斜マージンを大とすることができます。30

【0056】

すなわち、図10に示す例において、凸状部2を例えれば略円筒形状として、その直径e及び高さhを適切に選定することによって、ソリッドイメージョンレンズ11に入射される入射光を遮らない構成とすることができます、且つ光学ピックアップ装置に適用する場合において、レンズと光記録媒体との傾きマージンは、図6に示すように凸状部2を設けない場合と比較して格段に大とすることができます。図10において、レンズの支持部51の最も厚い部分の厚さ、すなわちレンズ加工前の薄板の厚さをtとし、レンズ11の厚さをt_L(=r+r/n)として示す。

【0057】

なお、ソリッドイメージョンレンズ11への入射光の入射角iは、
 $0^\circ < i < 90^\circ$ 40

の範囲である。

これについて説明すると、ソリッドイメージョンレンズを利用した集光レンズの開口数は、図11にその一例の概略構成図を示すように、ソリッドイメージョンレンズ11の対物面とは反対側に配置する光学レンズ12からソリッドイメージョンレンズ11への入射光の光軸からの入射角をi₀、ソリッドイメージョンレンズ11内の入射角をiとし、光学レンズ12の開口数をNA、ソリッドイメージョンレンズ11の屈折率をnとするとき、

$$\sin i_0 = NA$$

$$n \sin i_0 = \sin i$$

となるので、ソリッドイメージョンレンズ11による集光レンズの実効的な開口数NA(S50

IL)は、

$$\begin{aligned} N_A(SIL) &= n^2 \sin i_0 \\ &= n \sin i \end{aligned}$$

と表され、 i が約 90° のときソリッドイメージョンレンズ11による集光レンズの実効的な開口数 $N_A(SIL) = n$ で最大となる。

【0058】

つまり、図12A～Dにおいて入射角度 i が変化する場合の概略構成図をそれぞれ示すように、入射角 i が大きくなるほど、ソリッドイメージョンレンズによる集光レンズの実効的な開口数 $N_A(SIL)$ は大となり、 90° に近づくにつれ最大値 n に近づく。図11及び図12において、図6と対応する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。
10

すなわち、入射角度 i を大とするほうが高い開口数を得るためにには望ましいが、図2C及びDに示す例では、ソリッドイメージョンレンズを保持する部分の確保が難しく、また入射角度 i を大とするほど製造マージンは小さくなり、歩留まりを高めにくいという問題が生じる。

このため、製造マージンをある程度確保するためには、破線Rで示す位置近傍から入射させる構成が望ましく、すなわち実用的には入射角 i を $\tan^{-1}(n)$ 近傍とすることが望ましい。

また、入射角 i が $\tan^{-1}(n)$ を超える場合は、入射角 i までを超半球状として、その対物側を支持部51と一緒に設ける構成とすればよく、すなわち入射光が通過しないいわば入射の無効領域において、支持部51と一緒にとする構成とすればよい。
20

【0059】

上述の例において、ソリッドイメージョンレンズの半径 r を例えば $10\mu m$ 、ソリッドイメージョンレンズの厚さを $14\mu m$ 、屈折率を 2.458 、レンズと媒体の間隔を $25nm$ 、円筒部分の直径 e を $13\mu m$ (すなわち半径は $6.5\mu m$)、高さ h を $2\mu m$ にした場合を考える。

このとき、入射光の入射角度 i が光軸から $\tan^{-1}(n)$ であるとすると、約 68° となる。

一方、集光位置から凸状部2の縁部までの傾斜角度は、 $\tan^{-1}(2/6.5) \sim 17.1^\circ$ 、すなわち光軸からの角度は約 73° であり、十分入射光光路を遮ることのない形状とすることができます。
30

【0060】

またレンズと媒体の傾きを考えると、 $\tan^{-1}(0.025/6.5) \sim 0.22^\circ$ であることから、この場合、レンズの媒体に対する傾斜マージンは、 $+/-0.2^\circ$ とすることができる。このとき、球状部1の周囲の加工体積は上述したように $3600\mu m^3$ 程度であり、傾斜面としない場合と比較して格段に加工時間を低減化でき、また開口数2.28と高い開口数のソリッドイメージョンレンズを実現できる。

【0061】

図13A及びBに、このようにして形成したソリッドイメージョンレンズの概略斜視図及び側面図を示す。薄板を略正方形として、その一辺の長さ L_1 を例えば $1mm$ 程度とし、薄板の厚さ t を例えばレンズ材料としてダイヤモンドを用いる場合、製造及び取り扱いの容易な厚さ、すなわち生産性上問題のない厚さとして数 μm ～数 mm 程度の例えば $500\mu m$ とし得る。
40

そして、その略中央部に、例えば加工体積を考慮して全体面積の数分の1程度の面積となるように一辺の長さ L_2 を選定した凹部を形成して、更にその中央部に球状部1、すなわちソリッドイメージョンレンズのレンズ部50を設ける構成とすることができます。このような構成とすることによって、支持部51の周縁部において、アクチュエータ等に堅牢に固定させることができ、また厚さが十分であるため保持し易く、かつ従来に比して非常に微小な小径のソリッドイメージョンレンズを提供することができる。

【0062】

なお、このソリッドイメージョンレンズの先端部5の凸状部2の形状としては、上述し
50

た円筒形状の他、種々の形状を探ることが可能である。

例えば、図14にその一例の要部の断面図及び対物側からみた平面図を並置して示すように、先端側の例えは円筒状、角柱状、断面楕円型柱状などの凸状部2の周囲に光軸cと略直交する例えはリング形の平面部3を設け、この平面部3に向かって円錐状、角錐状などの傾斜部2を設ける構成とすることもできる。この場合においても、凸状部2の幅及び高さを適切に選定することによって、ソリッドイメージョンレンズに入射される入射光Liを遮ることのない形状とすることができる。

【0063】

または、図15に同様に先端部の一例の要部の断面図及び対物側からみた平面図を並置して示すように、先端部5を光軸cと略直交する平面状として、その周囲に傾斜部4を設ける構成としてもよい。平面部の平面形状としては、円形、四角形、又は楕円形など種々の形状を探り得る。

【0064】

更に、図16～図20に示すように、凸状部2の集光位置近傍を、例えは半径が略r/nとされた球（破線bで示す）に略外接する形状とすることもできる。この場合、この外接する領域の幅を光軸cからの半径fとして示すと、この半径fの領域において、レンズと入射光の光軸がずれた場合においても、ソリッドイメージョンレンズを通過する入射光の距離をr(1+1/n)から殆ど変化させることなく、良好に対物側の集光位置に集光させることができる。

なお、光軸に沿う方向の厚さをrとする場合は、この部分において直径が略rの球に外接する形状とすることによって、同様の効果を得ることができる。

【0065】

図16に示す例においては、光軸cから半径fの範囲を破線bで示す半径略r/nの球に略外接する形状とし、その周囲を円筒形状、又は例えは断面楕円形の柱状、または角柱状の凸状部2とし、その周囲に平面部及び傾斜部を設ける形状とした場合を示す。

光学ピックアップ装置に適用した場合において、対向する光記録媒体30との間隔dに対して、凸状部2の幅及び高さを適切に選定することによって、上述の図10において説明した例と同様に、適切な傾斜マージンが得られることは同様である。

図16において、図10と対応する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。

【0066】

また、図17に示すように、先端部5の一部において破線bで示す半径略r/nの球に略外接する形状とし、その周囲に円錐状、角錐状等の傾斜部4とするとか、図18に示すように、更に傾斜部4の周囲を平面部6とすることもできる。

更に、図19に示すように、半径yの領域において破線bで示す半径略r/nの球に略外接する形状とし、その周囲に平面部3を設けるとか、また図20に示すように、半径fの領域において破線bで示す半径略r/nの球に略外接する形状とし、光軸cから幅yの範囲において円柱状、角柱状、断面楕円型の柱状などの凸状部2を設けてその周囲を平面部3とするなど、種々の形状を探ることができることはいうまでもない。

図17～図20において、図10と対応する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。これらの場合において、光軸方向の厚さをrとする場合は、直径rの球に略外接する形状とすることによって、同様の効果を得ることができること。

以上の各例において、先端部5の一部において、半径が僅かにr/nからずれるとか、また半径r/nの球に僅かにずれて外接する場合においても、ソリッドイメージョンレンズの入射側の光学系においてこれを補正することができれば、同様の効果が得られることはいうまでもない。ソリッドイメージョンレンズの光軸に沿う厚さをrとし、直径が略rの球に略外接する形状とする場合も同様である。

なお、図19及び図20において示すように、凸状部2の縁部までの集光位置からの角度tを適切に選定して、入射光Liを遮らない形状とすることは同様である。

【0067】

また、上述の各例においては、ソリッドイメージョンレンズ11において、球状部1と

10

20

30

40

50

支持部 5 1 とを一体に形成する位置を、球状部 1 の光軸と直交する断面が略半径 r となる位置から対物側としたが、この位置は球状部 1 の一部であればよい。

すなわち、以上説明した例においては、図 2 1 A に示すように、球状部 1 の光軸と直交する断面の半径が r となる位置から対物側が支持部 5 1 と一緒に形成されている。このように支持部 5 1 と一緒に形成する位置としては、図 2 1 B に示すように、対物側とは反対側にずれてもよく、また図 2 1 C に示すように、対物側にずれてもよい。

図 2 1 B に示す例においては、支持部 5 1 の厚さが上述の各例よりも大となるため、より強度を保持することができ、また球状部 1 の加工面積が上述の各例に比して小さくなることから、製造マージンを高め、また加工時間も短縮化することが可能となる。

一方、図 2 1 C に示す例においては、支持部 5 1 の厚さが小となるが、図 2 1 A ~ C において矢印 L i で示す光学レンズ 1 2 からの入射光を示すように、図 2 1 C に示す構成とする場合はソリッドイマージョンレンズ 1 1 への入射光の入射位置がより対物側に近づき、すなわち入射角度が大となって、より大なる開口数を実現することができるという利点を有する。10

【 0 0 6 8 】

以上説明したように、本発明によるソリッドイマージョンレンズを用いれば、薄板状の支持部を一緒に設ける構成とすることから、0.5 mm 程度以下、 μm オーダーのサイズにレンズの小径化を図る場合、また非常に硬度の高い材料よりソリッドイマージョンレンズを構成する場合においても、製造が比較的容易であり、また堅牢かつ安定な保持を可能とし、また所定の開口数を得ることができて、開口数が大なるニアフィールド光記録再生に適したソリッドイマージョンレンズ及びこれを用いた集光レンズを提供することができる。20

したがって、レンズの小径化による光学系の小型化、軽量化によって、フォーカスサーボ、トラッキングサーボやシーク時間等のサーボ特性の向上を図ることができ、光記録媒体に対する記録再生の安定性を高めることができるとなり、また光学ピックアップ装置および光記録再生装置の小型化薄型化を図ることができる。

【 0 0 6 9 】

また、球状部と対向する側面を傾斜面とすることによって、球状部の周囲の加工体積を低減化することができ、加工時間を大幅に低減化することができるとなり、生産性の向上を図ることができる。30

更に、対物側の先端部に凸状部を設ける構成とすることによって、ソリッドイマージョンレンズと光記録媒体との傾斜マージンを大とすることができます、保持部との一体化による取り扱いの簡易化と相俟って、組み立て工程における制度を保持しつつ作業性を向上させ、生産性を高めることも可能である。

【 0 0 7 0 】

なお、本発明によるソリッドイマージョンレンズ及びこれを用いた集光レンズ、光学ピックアップ装置、光記録再生装置においては、上述の実施の形態例に限定されることはなく、その他本発明構成を逸脱しない範囲において、種々の変形、変更が可能であることはいうまでもない。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 7 1 】

【図 1】本発明によるソリッドイマージョンレンズ及び集光レンズの一例の概略構成図である。

【図 2】本発明による集光レンズの一例の概略構成図である。

【図 3】本発明による光学ピックアップ装置の一例の概略構成図である。

【図 4】本発明による光学ピックアップ装置の一例の概略構成図である。

【図 5】本発明による光学ピックアップ装置の一例の概略構成図である。

【図 6】本発明によるソリッドイマージョンレンズの一例の概略構成図である。

【図 7】A は本発明のソリッドイマージョンレンズの形成方法の一例の一工程図である。

B は本発明のソリッドイマージョンレンズの形成方法の一例の一工程図である。C は本發
50

明のソリッドイメージョンレンズの形成方法の一例の一工程図である。

【図 8】本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の要部の概略構成図である。

【図 9】本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の要部の概略構成図である。

【図 10】本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の概略構成図である。

【図 11】ソリッドイメージョンレンズの開口数の説明に供する概略構成図である。

【図 12】Aはソリッドイメージョンレンズの一例の概略構成図である。Bはソリッドイメージョンレンズの一例の概略構成図である。Cはソリッドイメージョンレンズの一例の概略構成図である。Dはソリッドイメージョンレンズの一例の概略構成図である。

【図 13】Aは本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の概略斜視構成図である。Bは本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の概略側面構成図である。

10

【図 14】本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の要部の概略構成図である。

【図 15】本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の要部の概略構成図である。

【図 16】本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の要部の概略構成図である。

【図 17】本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の要部の概略構成図である。

【図 18】本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の要部の概略構成図である。

【図 19】本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の要部の概略構成図である。

【図 20】本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の要部の概略構成図である。

【図 21】Aは本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の要部の概略構成図である。Bは本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の要部の概略構成図である。Cは本発明によるソリッドイメージョンレンズの一例の要部の概略構成図である。

20

【図 22】従来のソリッドイメージョンレンズの一例の概略構成図である。

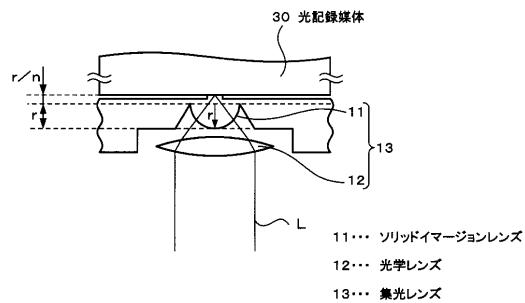
【符号の説明】

【0072】

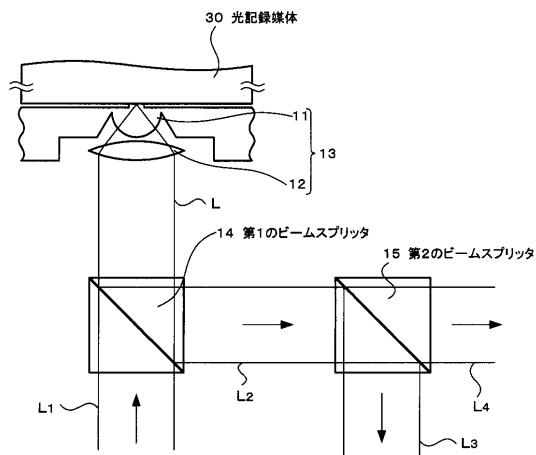
1 . . . 球状部、 2 . . . 凸状部、 3 . . . 平面部、 4 . . . 傾斜部、 5 . . . 先端部
、 9 . . . 対物面、 11 ソリッドイメージョンレンズ、 12 . . . 光学レンズ、 13 . .
・ 集光レンズ、 14 . . . 第1のビームスプリッタ、 15 . . . 第2のビームスプリッタ
、 16 . . . 2軸アクチュエータ、 17 . . . トラッキング用コイル、 18 . . . フォー
カシング用コイル、 19 . . . 保持部、 20 . . . 保持体、 21 . . . スライダ、 22 .
・ ジンバル、 23 . . . ミラー、 30 . . . 光記録媒体、 50 . . . レンズ部、 51 .
・ 支持部、 52 . . . 加工部、 60 . . . レンズ材料体、 61 . . . 薄板、 61A . .
・ 第1の面、 61B . . . 第2の面、 62 . . . 第1の凹部、 63 . . . 第2の凹部

30

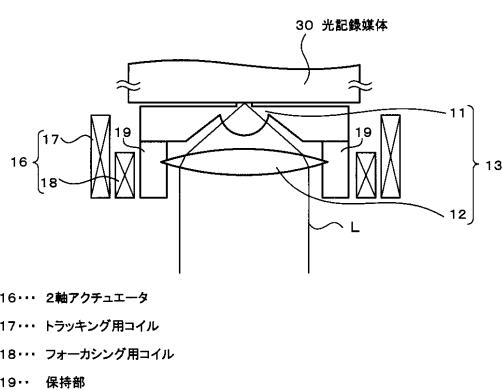
【図1】



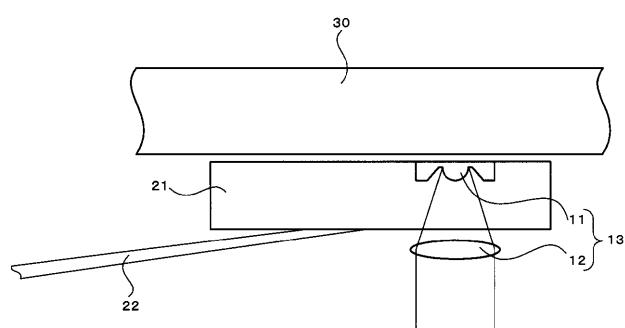
【図2】



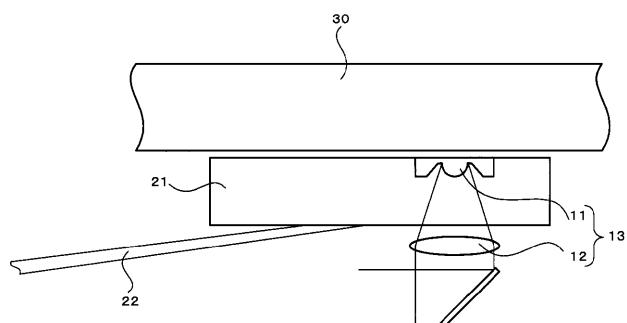
【図3】



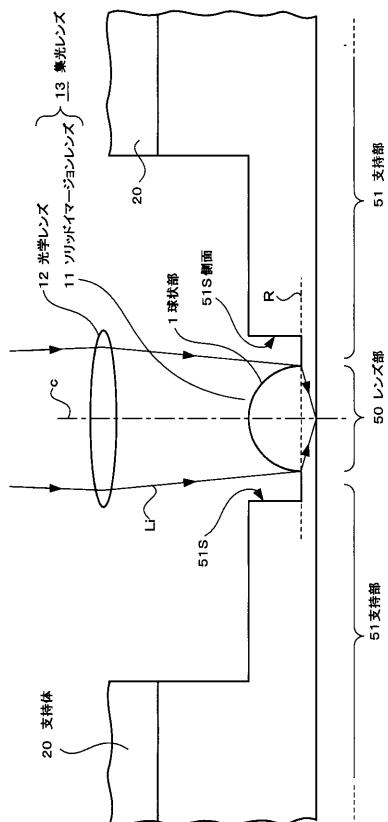
【図4】



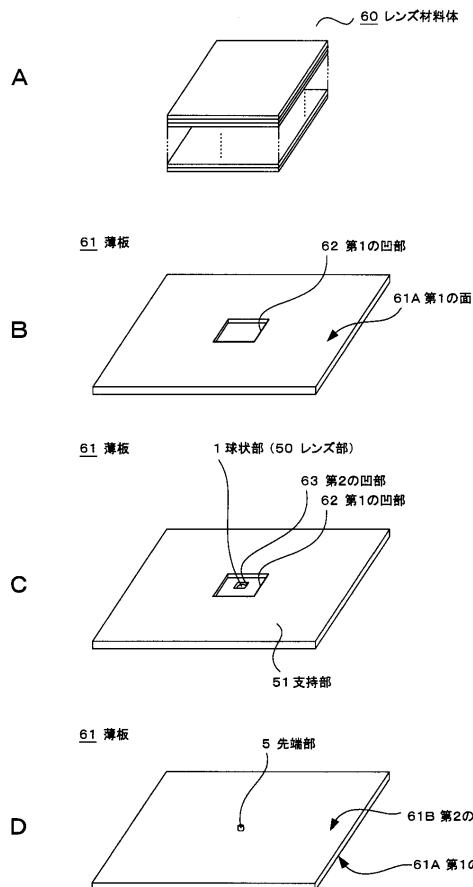
【図5】



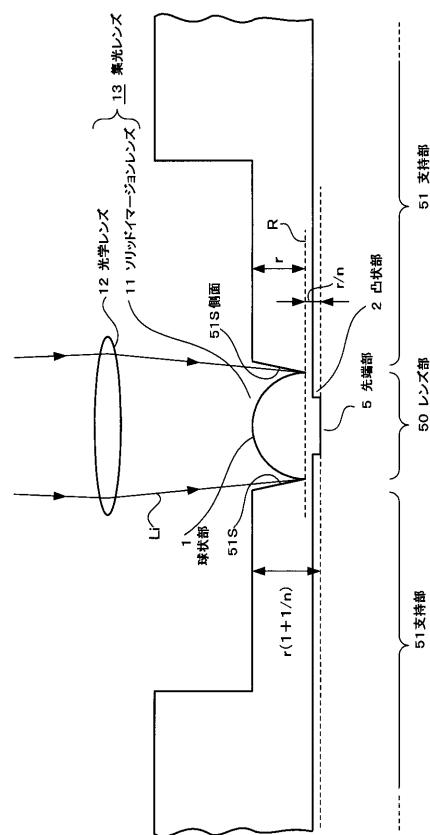
【図6】



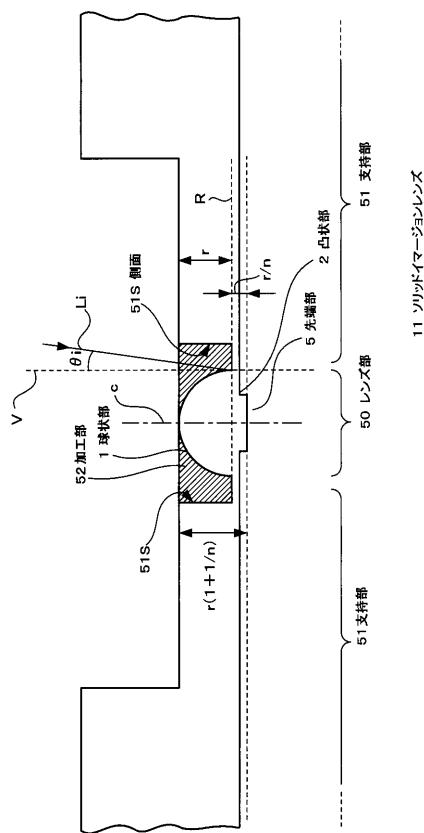
【 図 7 】



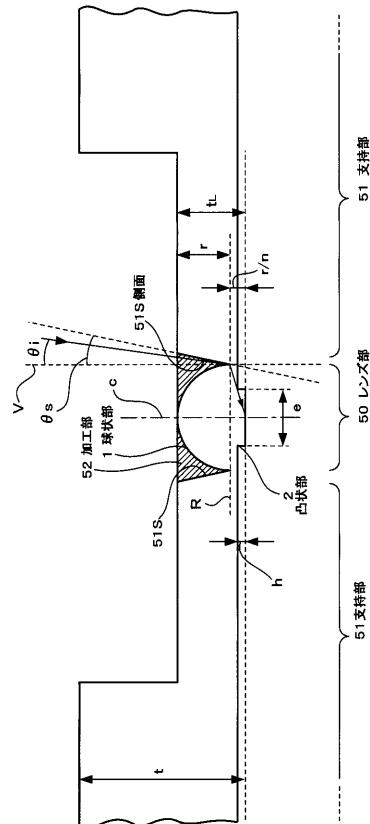
【 図 8 】



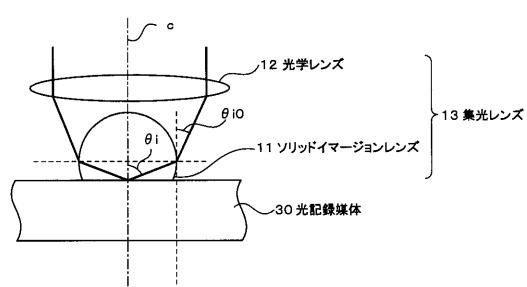
【図9】



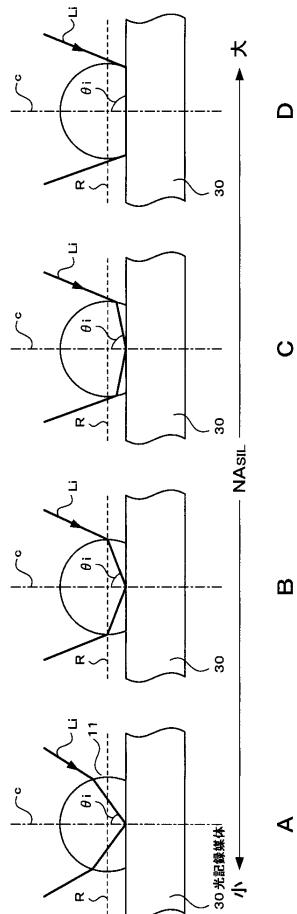
【 図 1 0 】



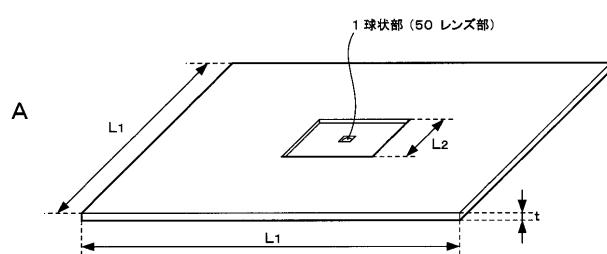
【図11】



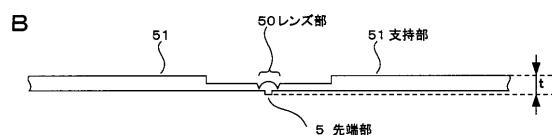
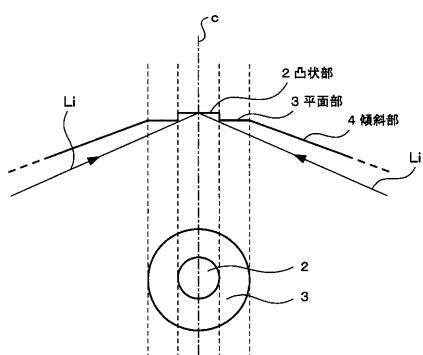
【図12】



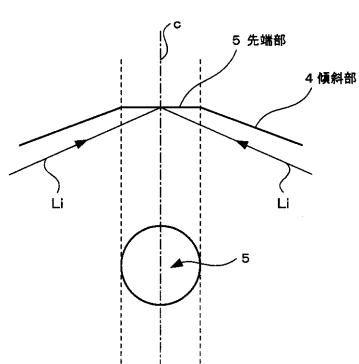
【図13】



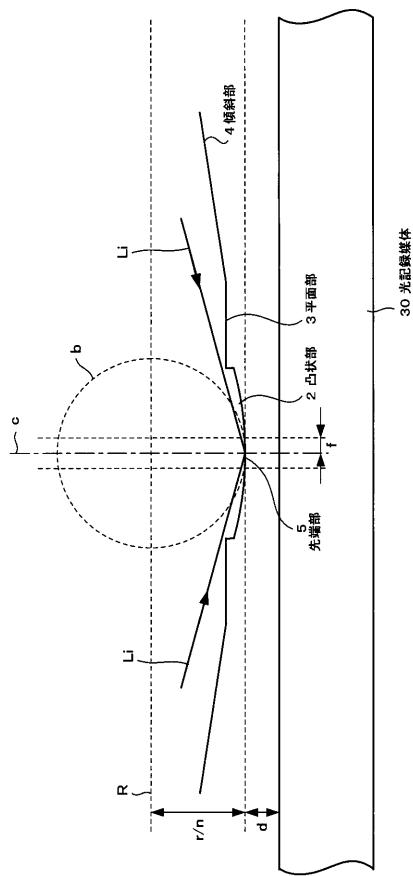
【図14】



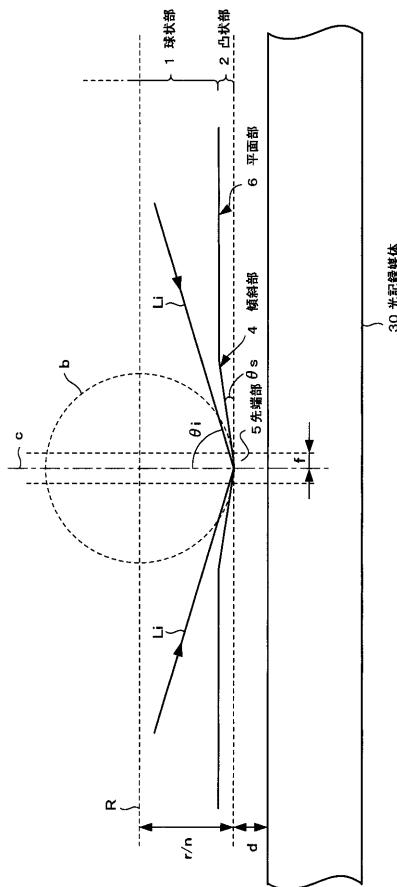
【図15】



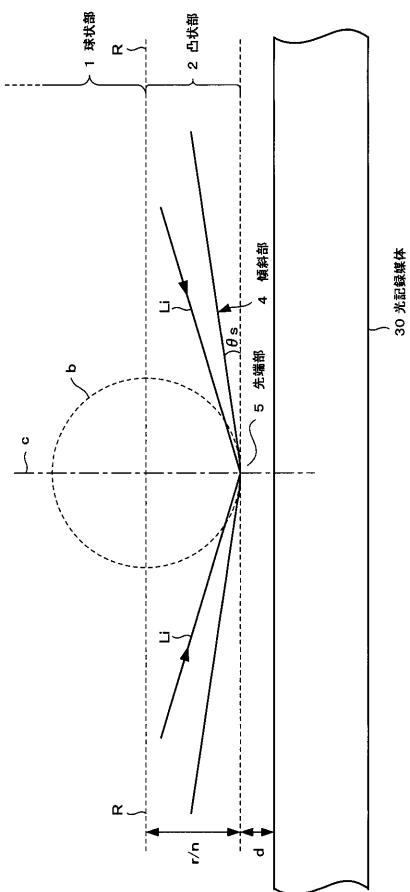
【図16】



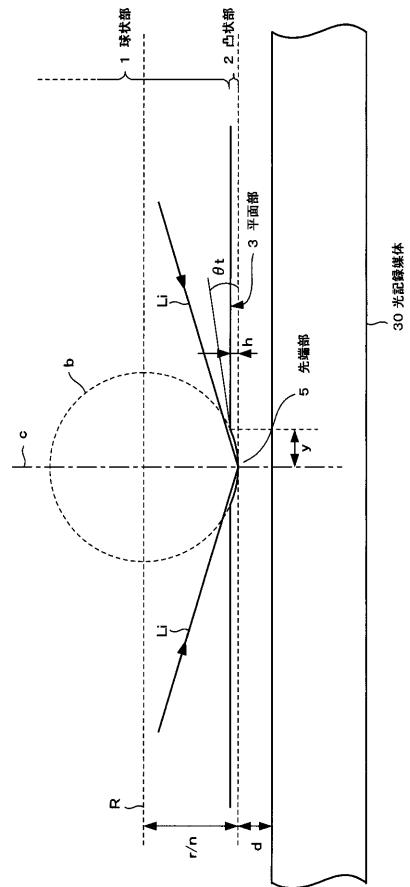
【図18】



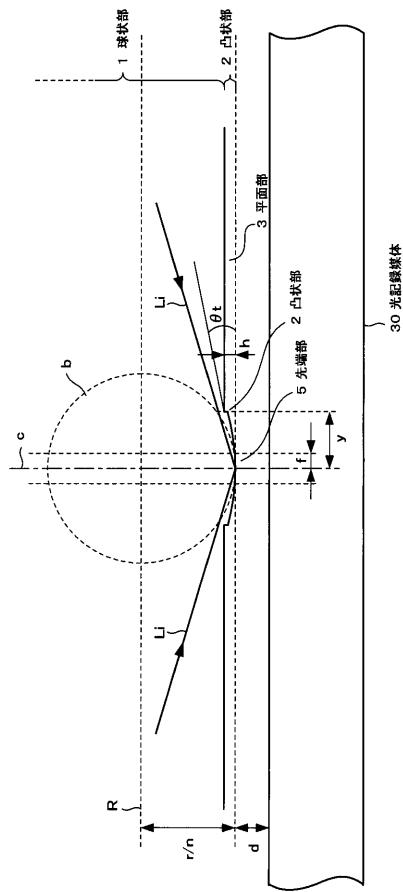
【図17】



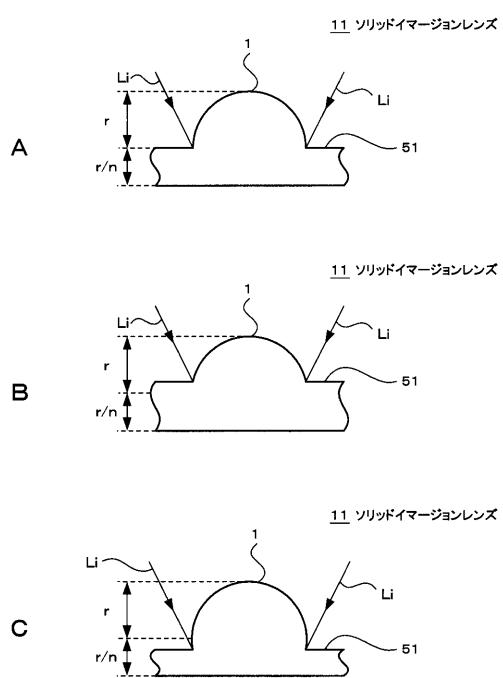
【図19】



【図20】



【図21】



【図22】

