

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4094229号
(P4094229)

(45) 発行日 平成20年6月4日 (2008.6.4)

(24) 登録日 平成20年3月14日 (2008.3.14)

(51) Int.Cl.

F I

G 1 1 B 7/135 (2006.01)

G 1 1 B 7/135 Z

G 1 1 B 7/22 (2006.01)

G 1 1 B 7/22

G O 1 N 37/00 (2006.01)

G O 1 N 37/00

G O 2 B 6/12 (2006.01)

G O 2 B 6/12

G O 2 B 21/00 (2006.01)

G O 2 B 21/00

請求項の数 26 (全 50 頁)

(21) 出願番号 特願2000-581644 (P2000-581644)
 (86) (22) 出願日 平成11年11月4日 (1999.11.4)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP1999/006150
 (87) 国際公開番号 W02000/028536
 (87) 国際公開日 平成12年5月18日 (2000.5.18)
 審査請求日 平成16年4月14日 (2004.4.14)
 (31) 優先権主張番号 特願平10-317671
 (32) 優先日 平成10年11月9日 (1998.11.9)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願平10-331694
 (32) 優先日 平成10年11月20日 (1998.11.20)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願平11-8082
 (32) 優先日 平成11年1月14日 (1999.1.14)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000002325
 セイコーインスツル株式会社
 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地
 (74) 代理人 100079212
 弁理士 松下 義治
 (72) 発明者 加藤 健二
 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セ
 イコーインスツルメンツ株式会社内
 (72) 発明者 新輪 隆
 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セ
 イコーインスツルメンツ株式会社内
 (72) 発明者 市原 進
 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セ
 イコーインスツルメンツ株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 近視野光ヘッドおよびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

微小開口より生成される近視野光を利用して記録媒体に対する情報の記録及び再生を行
 う近視野光ヘッドにおいて、

平面基板に形成され前記記録媒体に向かって先鋭化した光伝搬体からなるテーパ部の頂
 点に存在する微小開口と、

前記平面基板に配置され前記記録媒体に対し略平行方向に光を伝搬させ、一端が前記テ
 ーパ部内に配置される光導波路と、

前記伝搬した光を前記微小開口方向に反射する反射部とを備え、

前記光導波路と前記反射部が一体構成であることを特徴とする近視野光ヘッド。

10

【請求項 2】

微小開口より生成される近視野光を利用して記録媒体に対する情報の記録及び再生を行
 う近視野光ヘッドにおいて、

平面基板に形成され前記記録媒体に向かって先鋭化した光伝搬体からなるテーパ部の頂
 点に存在する微小開口と、

前記微小開口から突出し先鋭化された微小な突起部と、

前記平面基板に配置され前記記録媒体に対し略平行方向に光を伝搬させる光導波路と、

前記伝搬した光を前記微小開口方向に反射する反射部とを備え、

前記光導波路と前記反射部が一体構成であることを特徴とする近視野光ヘッド。

【請求項 3】

20

微小開口より生成される近視野光を利用して記録媒体に対する情報の記録及び再生を行う近視野光ヘッドにおいて、

平面基板に配置され記録媒体に対し略平行方向に光を伝搬させる光導波路と、前記伝搬した光を前記微小開口方向に反射する反射部とを有する第1の基板と、

前記記録媒体に向かって先鋭化した光伝搬体からなるテーパ部と、前記テーパ部の頂点に形成された前記微小開口と、前記微小開口から突出し先鋭化された微小な突起部とを有する第2の基板と、を備えることを特徴とする近視野光ヘッド。

【請求項4】

前記微小開口から突出し先鋭化された微小な突起部を備えることを特徴とする請求項1に記載の近視野光ヘッド。

10

【請求項5】

前記第1の基板と前記第2の基板との間に配置され、前記微小開口方向に向かう光を集光するレンズを有する第3の基板を備えることを特徴とする請求項3に記載の近視野光ヘッド。

【請求項6】

前記光伝搬体の少なくとも一部が誘電体であることを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の近視野光ヘッド。

【請求項7】

前記光伝搬体の少なくとも一部が空気であることを特徴とする請求項1に記載の近視野光ヘッド。

20

【請求項8】

前記記録媒体に対向する面にスライダ面を有し、

前記記録媒体と前記微小開口との間隔が、前記記録媒体と前記スライダ面との間隔と略等しいことを特徴とする請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の近視野光ヘッド。

【請求項9】

前記テーパ部が前記スライダ面に近接して設けられていることを特徴とする請求項8に記載の近視野光ヘッド。

【請求項10】

前記微小開口が前記スライダ面に形成されていることを特徴とする請求項8に記載の近視野光ヘッド。

30

【請求項11】

前記スライダ面が前記テーパ部の周囲を180度囲むように配置されていることを特徴とする請求項8に記載の近視野光ヘッド。

【請求項12】

前記テーパ部と前記光導波路と前記反射部とが、前記記録媒体に対向する面に形成されることを特徴とする請求項1あるいは請求項2に記載の近視野光ヘッド。

【請求項13】

前記テーパ部は前記微小開口に近づくにつれ広角化していることを特徴とする請求項1乃至請求項12のいずれかに記載の近視野光ヘッド。

【請求項14】

40

前記テーパ部あるいは前記光導波路あるいは前記反射部の少なくとも一部に、前記微小開口への集光機能あるいは前記微小開口からの光のコリメート機能を有していることを特徴とする請求項1乃至請求項13のいずれかに記載の近視野光ヘッド。

【請求項15】

前記集光機能は、光伝搬方向の垂直方向に沿って段階的に屈折率が異なる屈折率勾配を有することを特徴とする請求項14に記載の近視野光ヘッド。

【請求項16】

前記光導波路がクラッドとコアの組み合わせによって構成されることを特徴とする請求項1乃至請求項15のいずれかに記載の近視野光ヘッド。

【請求項17】

50

前記微小開口を複数有し、

前記光導波路は少なくとも一つの光源から発せられた光を前記複数の微小開口に導くことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 1 6 のいずれかに記載の近視野光ヘッド。

【請求項 1 8】

前記テーパ部が形成された第1のクラッドと、

前記テーパ部の側面に沿って深さ方向に形成されたコアと、

前記コアを前記第1のクラッドと挟むように形成された第2のクラッドと、
を備えることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 1 7 のいずれかに記載の近視野光ヘッド。

【請求項 1 9】

前記第2のクラッドが前記平面基板であることを特徴とする請求項 1 8 に記載の近視野光ヘッド。 10

【請求項 2 0】

前記第 1 のクラッドの前記記録媒体と対向する面に形成され、
前記微小開口に対応する位置に微小径穴を有する反射膜を備えることを特徴とする請求項 1 8 あるいは請求項 1 9 に記載の近視野光ヘッド。

【請求項 2 1】

微小開口より生成される近視野光を利用して記録媒体に対する情報の記録及び再生を行う近視野光ヘッドの製造方法において、

平面基板に、前記記録媒体に向かって先鋭化し、頂点に前記微小開口を有する光伝搬体からなるテーパ部を形成する工程と、 20

前記平面基板に、前記記録媒体に対し略平行方向に光を伝搬させ、一端が前記テーパ部内に配置される光導波路を形成する工程と、

前記伝搬した光を前記微小開口方向に反射する反射部を前記光導波路と一体に形成する工程とを含むことを特徴とする近視野光ヘッドの製造方法。

【請求項 2 2】

微小開口より生成される近視野光を利用して記録媒体に対する情報の記録及び再生を行う近視野光ヘッドの製造方法において、

平面基板に、前記記録媒体に向かって先鋭化し、頂点に前記微小開口を有する光伝搬体からなるテーパ部を形成する工程と、

前記微小開口から突出し、先鋭化された微小な突起部を形成する工程と、 30
前記平面基板に、前記記録媒体に対し略平行方向に光を伝搬させる光導波路を形成する工程と、

前記伝搬した光を前記微小開口方向に反射する反射部を前記光導波路と一体に形成する工程とを含むことを特徴とする近視野光ヘッドの製造方法。

【請求項 2 3】

微小開口より生成される近視野光を利用して記録媒体に対する情報の記録及び再生を行う近視野光ヘッドの製造方法において、

第1の基板に、前記記録媒体に対し略平行方向に光を伝搬させる光導波路と、前記伝搬した光を前記微小開口方向に反射する反射部とを形成する工程と、

第2の基板に、前記記録媒体に向かって先鋭化し頂点に前記微小開口を有する光伝搬体からなるテーパ部と、前記微小開口から突出し先鋭化された微小な突起部とを形成する工程とを含むことを特徴とする近視野光ヘッドの製造方法。 40

【請求項 2 4】

前記微小開口の大きさ及び形状を、前記テーパ部に光反射膜を形成することで調整することを特徴とする請求項 2 1 に記載の近視野光ヘッドの製造方法。

【請求項 2 5】

前記微小開口の大きさ及び形状を、前記平面基板の前記記録媒体と対向する面に光反射膜を形成することで調整することを特徴とする請求項 2 1 乃至請求項 2 3 のいずれかに記載の近視野光ヘッドの製造方法。

【請求項 2 6】

前記光反射膜が金属であり、
前記微小開口を前記金属より堅い材料で前記テーパ部頂点付近の前記金属を塑性変形させることにより形成することを特徴とする請求項 2 4 あるいは請求項 2 5 に記載の近視野光ヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

技術分野

本発明は、微小領域での光学的な相互作用により生じる近視野光を利用し、微小領域に形成された構造的あるいは光学的な情報の再生や微小領域への情報の記録を行うことによって、高密度な情報の再生および記録を可能とした情報記録再生装置用の近視野光ヘッドに関する。

10

背景技術

光を用いた情報記録再生装置は、大容量化・小型化の方向へと進化しており、そのため記録ビットの高密度化が要求されている。その対策として、青紫色半導体レーザや S I L (Solid Immersion Lens) を用いた研究がおこなわれているが、これらの技術では光の回折限界の問題により、現在の記録密度の数倍程度の向上しか望めない。これに対し、光の回折限界を超えた微小領域の光学情報を扱う技術として近視野光を利用した情報記録再生方法が期待されている。

この技術では、微小領域と近視野光ヘッドに形成した光の波長以下サイズの光学的開口との相互作用により発生する近視野光を利用する。これにより、従来の光学系において限界とされていた光の波長以下となる領域における光学情報を扱うことが可能となる。光学情報の再生方法としては、メディア表面に散乱光を照射することにより微小マークに局在する多くの近視野光を微小開口との相互作用により伝搬光に変換する（コレクションモード）方法、あるいは微小開口より生成される近視野光をメディア表面に照射し、メディア表面の情報が記録された微小な凹凸との相互作用により変換される散乱光を別途設けたデテクタで検出する（イルミネーションモード）方法で可能である。記録は、微小開口より生成される近視野光をメディア表面に照射させ、メディア上の微小な領域の形状を変化させたり（ヒートモード記録）、微小な領域の屈折率あるいは透過率を変化させる（フォトンモード記録）ことにより行う。これら、光の回折限界を超えた光学的微小開口を有する近視野光ヘッドを用いることにより、従来の光情報記録再生装置を超える記録ビットの高密度化が達成される。

20

30

こうしたなか、一般に近視野光を利用した記録再生装置の構成は、磁気ディスク装置とほぼ同様であり、磁気ヘッドに代わり、近視野光ヘッドを用いる。サスペンションアームの先端に取り付けた光学的微小開口をもつ近視野光ヘッドをフライングヘッド技術により一定の高さに浮上させ、ディスク上に存在する任意のデータマークへアクセスする。ディスクの高回転に近視野光ヘッドを追従させるため、ディスクのうねりに対応して姿勢を安定させるフレクチャ機能をもたせている。

このような構成の近視野光ヘッドにおいて、開口に光を供給する方法として、光ファイバを上方より直接ヘッドに接続したり、ヘッドの上方に設けたレーザを直接ヘッドに照射する手段をとっていた。

また、近視野光ヘッドに代わり、近視野光顕微鏡に代表される光ファイバを加工し開口部が先鋭化された光ファイバプローブやカンチレバー型光プローブを用いて、走査型プローブ顕微鏡におけるプローブとメディア表面との間に生じるトンネル電流や原子間力などの相互作用によりメディアとの相対位置を保ちながら、情報の記録再生を実現していた。

40

また、シリコン基板に異方性エッチングにより逆ピラミッド構造の開口を形成した平面プローブの使用が提案されている。上方より光を入射し、逆錐状のピラミッド内での反射によりその頂点に存在する開口より近視野光を発生させている。このプローブは上述した先鋭化された先端をもたないため、高速記録再生に適した光ヘッドとして使用できる。

しかしながら、上方より光ファイバを接続した構造で光を入射させると、光ファイバの構造体がヘッドとアーム間に接続しており、そのことがヘッドの自由な運動を妨げ、ディスクの運動に対するヘッドの姿勢制御が困難となったり、ヘッドの構成が大型になることに

50

より、ディスクと開口との距離を一定に保つことができなかった。この結果、ディスク上に描かれた光学情報からの出力S/N比が低下し、信号の読み込み・書き込みが困難な状況であった。また、開口に到達するまでに多くの光が減衰し、開口から高速再生を行うに十分な近視野光を生成させることが困難であった。さらに、ヘッド上方へファイバが出ている構成であるため装置自体が大型になり、小型化・薄型化が困難であった。また、光ファイバのヘッドへ差し込みやその位置合わせを一本ずつおこなっており、量産性が乏しいものであった。

また、ヘッド上方に配置したレーザにより直接ヘッドに信号を照射させる場合は、ヘッドの高速な動きに対応し、入射させる光を同期させる必要があり、ヘッドの動きにあわせた動きをもつ構造体を別途設ける必要があり、非常に困難であった。また、そのような構造体を別途設けることにより、装置自体が大型なものとなり、再生記録装置の小型化が困難であった。

さらに、光ファイバを先鋭化された光ファイバプローブあるいはやはり先鋭化されたカンチレバー型光プローブを用いてメディア表面との相互作用によりメディアとの距離を一定に保つ場合は、メディアとの距離を常に制御しながら走査するため、そのフィードバック機構の装置が必要となり、記録再生装置の小型化が困難となった。さらにフィードバック系の応答速度に限界があることから高速掃引にも問題があった。また、先鋭化されたプローブの機械的強度が十分でなく、アレイ化にも適していない。また、ファイバ先端部における光損失により開口からの近視野光強度が十分な大きさではない。また、このプローブは一本一本手作業で作製しており、量産性がない。

また、平面プローブにおいても、上方より光を入射させる必要があり、上記課題と同様に装置の大型化や量産性に対する問題あるいはフレクチャ機能の低下といった問題が発生する。

さらに、上記したプローブの開口は、近視野光を生成するために、または近視野光を散乱させるために、伝搬光（レーザ光等）の波長以下のサイズに形成する必要があるが、このようなサイズ（10ナノメートル～200ナノメートル）の開口を、目的とする形状および大きさに正確に再現性高く作製することは困難であった。

例えば、上記した平面プローブにおいて、シリコン基板に近視野光の生成または散乱に適した微小な開口を作製するのに、通常、エッチング処理を施すが、シリコン基板の品質やエッチング溶液の濃度むらが問題となることがある。

前者のシリコン基板の品質については、異方性エッチングによるテーパ部の形成によりシリコン基板を貫通させた穴を開口とする方法や、テーパ部の形成されたシリコン基板の裏面から等方性エッチング（バックエッチング）によって開口を出現させる方法などは、シリコンの周期的な結晶面の存在を前提としており、結晶欠陥や不純物が含まれた部分において、意図した方向や速度でのエッチングがおこなわれずに、最終的に得られる開口部の形状やサイズに狂いが生じることである。

また、後者のエッチング溶液の濃度むらの問題とは、エッチング溶液には多少なりとも濃度にむらが存在しており、このむらによって、シリコン基板上において、エッチングが速く進む部分と遅く進む部分、すなわちエッチング速度の異なる領域が現れ、最終的に得られる開口部の形状やサイズに狂いが生じることである。このような問題は、特にシリコンウェハ上に多数の平面プローブを形成しようとする場合には、無視できず、歩留まりの低下を招く原因となっていた。

従って本発明は、近視野光を生成する微小な開口を有する近視野光ヘッドにおいて、開口より十分大きな近視野光が生成でき、高分解能の再生記録が得られ、かつコンパクトな構成で量産性および2次元に配列したアレイ化にも優れ、フレクチャの機能を障害することなくメディアに追従した動きにより安定した記録再生が行え、高速記録再生および装置の小型化・薄型化が可能となる近視野光ヘッドを提供することを目的とする。

発明の開示

上記の目的を達成するために、本発明に係る近視野光ヘッドにおいては、逆錐状の穴がその頂点を微小開口とするように貫通して形成された平面基板と、前記平面基板の、前記微

10

20

30

40

50

小開口が形成された面と反対側の面上に形成された光導波路と、前記光導波路に形成され、光路を曲げる光反射膜と、を備えたことを特徴としている。

従って、光反射層による一回の光の反射により微小開口近辺に光を集光することができ、開口より生成される近視野光の強度の増加が図れるとともに、機械的な強度の大きい、コンパクトな構成でかつ、量産性に優れた近視野光ヘッドを提供できる。

また、本発明に係る近視野光ヘッドにおいては、前記光導波路は、前記逆錐状の穴の内側にも形成されたことを特徴としている。

従って、光導波路を微小開口近くに配置することが可能となり、微小開口部に照射する光エネルギー密度が大きく、開口より生成される近視野光の強度の増加が図れるとともに、機械的な強度の大きい、コンパクトな構成でかつ、量産性に優れた近視野光ヘッドを提供できる。

10

また、本発明に係る近視野光ヘッドにおいては、前記逆錐状の穴が、斜度の異なる複数の斜面により形成されたことを特徴とし、さらに、前記複数の斜面において、前記複数の斜面の平均の斜度より小さい斜度をもつ斜面が前記微小開口近傍にあることを特徴としている。

従って、微小開口近辺で緩やかな斜面を有する構造にすることで、開口近辺での光伝搬のロスを減少することができ、開口より生成される近視野光の強度の増加が図れるとともに、機械的な強度の大きい、コンパクトな構成でかつ、量産性に優れた近視野光ヘッドを提供できる。

また、前記複数の斜面において、少なくとも1つの斜面が、前記平面基板の前記微小開口が形成された面となす角が、55度より小さいことを特徴とすることによっても、開口近辺での光伝搬のロスを減少することができ、開口より生成される近視野光の強度の増加が図れる。

20

また、本発明に係る近視野光ヘッドにおいては、前記逆錐状の穴が、少なくとも1つの曲面状の斜面を有することを特徴としている。あるいは、前記曲面状の斜面の少なくとも1つは、前記微小開口近傍において、開口に近づくに従って斜度が小さくなることを特徴としている。

従って、微小開口近辺で緩やかな斜面を有する構造にすることで、開口近辺での光伝搬のロスを減少することができ、開口より生成される近視野光の強度の増加が図れるとともに、機械的な強度の大きい、コンパクトな構成でかつ、量産性に優れた近視野光ヘッドを提供できる。

30

また、本発明に係る近視野光ヘッドにおいては、前記光反射層、あるいは前記光導波路は、前記微小開口への集光機能あるいは前記微小開口からの光（近視野光の検出時において散乱された光）のコリメート機能を有していることを特徴としている。

従って、光反射層あるいは光導波路に構成した集光機能の効果により微小開口部に光を集光することができ、開口より生成される近視野光の強度の増加が図れるとともに、機械的な強度の大きい、コンパクトな構成でかつ、量産性に優れた近視野光ヘッドを提供できる。

また、光反射層あるいは光導波路に構成した光のコリメート機能の効果により微小開口から検出した光を効率よく伝搬することができる近視野光ヘッドを提供できる。

40

また、本発明に係る近視野光ヘッドにおいては、前記光導波路が、クラッドとコアとの組み合わせによって構成されていることを特徴としている。

従って、光導波路を、屈折率の異なるコア、クラッドの構成とすることで、光の伝搬効率のよい近視野光ヘッドを提供できる。

また、本発明に係る近視野光ヘッドにおいては、前記平面基板は、前記微小開口を複数有し、前記光導波路および前記光反射層は、前記微小開口が形成された面と反対側の面上に形成され、一つの光源より発した光を、前記複数の微小開口の方向に導くように形成されたことを特徴としている。

従って、本発明に係る近視野光ヘッドを光メモリヘッドとして使用する場合に、プローブの高速な掃引を行わずに、高速な情報の記録かつ再生を可能とし、かつメディアに十分

50

な光量を供給でき、コンパクトな構成で量産性に優れた光プローブを提供できる。さらに、開口より多くの近視野光を生成でき、S N比の高い信号の入出力が可能となり、信頼性の高い装置が作製できる。

次に、本発明に係る近視野光ヘッドの製造方法では、逆錐状の穴がその頂点を微小開口とするように貫通して形成された平面基板と、前記平面基板の、前記微小開口が形成された面と反対側の面上に形成された光導波路と、前記光導波路に形成され、光路を曲げる光反射層と、を備えた近視野光ヘッドを製造するにあたり、前記光導波路は、前記平面基板上に積層されて形成されることを特徴としている。また、前記光導波路は、前記平面基板上に接合されて形成されることを特徴としている。

また、本発明に係る近視野光ヘッドの製造方法では、平面基板に、頂点を微小開口とするように貫通した逆錐状の穴を形成する工程と、光導波路を、前記微小開口が形成された面と反対側の面上に積層形成する工程と、光反射層を、光路を曲げるように前記光導波路に形成する工程と、を含むことを特徴としている。

あるいは、光導波路を、前記微小開口が形成された面と反対側の面上に積層形成する工程に代わり、光導波路を、前記微小開口が形成された面と反対側の面上に接合して形成する工程にて行うことを特徴としている。

従って、このような製造方法では、フォトリソグラフィ技術を用いた半導体製造プロセスにて作製でき、コンパクトな構成で、良好な再現性を有し、量産性に優れた近視野光ヘッドを提供できる。また、同一基板上に複数の開口を形成するアレイ化した近視野光ヘッドおよび近視野光ヘッドアレイを提供できる。

また、本発明に係る近視野光ヘッドの製造方法では、平面基板に、頂点を第1の微小開口として貫通した逆錐状の穴を形成する工程と、前記逆錐状の穴のテーパ部上に光反射層を形成し、当該光反射層の厚みによって規定される大きさでかつ前記第1の微小開口よりも小さい第2の微小開口を形成する工程と、を含むことを特徴としている。

従って、シリコン基板等の平面基板に比較的大きな微小開口（第1の微小開口）を形成することで、エッチング処理等による微小開口のばらつきを低減させ、またばらついた微小開口に対しても、逆錐状の穴のテーパ部上に比較的制御の容易な成膜処理を行なうことで、実際に有効となる微小開口（第2の微小開口）の大きさを規定するので、歩留まり良く平面プローブを得ることができる。

また、本発明に係る近視野光ヘッドの製造方法では、平面基板に、頂点を第1の微小開口として貫通した逆錐状の穴を形成する工程と、前記逆錐状の穴のテーパ部上に部分的に異なる厚みの光反射層を形成し、当該光反射層の厚みによって規定される形状でかつ前記第1の微小開口の形状と異なる形状の第2の微小開口を形成する工程と、を含むことを特徴としている。

従って、シリコン基板等の平面基板に比較的大きな微小開口（第1の微小開口）を形成することで、エッチング処理等による微小開口のばらつきを低減させ、またばらついた微小開口に対しても、逆錐状の穴のテーパ部上に部分的に厚みの異なる成膜処理を行なうことで、実際に有効となる微小開口（第2の微小開口）の形状を規定するので、歩留まり良く平面プローブを得ることができる。

また、本発明に係る近視野光ヘッドの製造方法では、平面基板に、頂点を第1の微小開口として貫通した逆錐状の穴を形成する工程と、前記平面基板において前記第1の微小開口を含む面上に光反射膜を形成し、当該光反射膜の厚みによって規定される大きさでかつ前記第1の微小開口よりも小さい第2の微小開口を形成する工程と、を含むことを特徴としている。

従って、シリコン基板等の平面基板に比較的大きな微小開口（第1の微小開口）を形成することで、エッチング処理等による微小開口のばらつきを低減させ、またばらついた微小開口に対しても、平面基板の裏面上（前記第1の微小開口を含む面上）に比較的制御の容易な成膜処理を行なうことで、実際に有効となる微小開口（第2の微小開口）の大きさを規定するので、歩留まり良く平面プローブを得ることができる。

また、本発明に係る近視野光ヘッドの製造方法では、平面基板に、頂点を第1の微小開口

10

20

30

40

50

として貫通した逆錐状の穴を形成する工程と、前記逆錐状の穴のテーパ部を含む前記平面基板の面上に酸化膜を形成し、当該酸化膜の厚みによって規定される大きさでかつ前記第1の微小開口よりも小さい第2の微小開口を形成する工程と、を含むことを特徴としている。

また、平面基板に、頂点を第1の微小開口とするように貫通した逆錐状の穴を形成する工程と、前記逆錐状の穴のテーパ部を含む前記平面基板の面にイオン注入を行ない、当該イオン注入によって膨張した厚みによって規定される大きさでかつ前記第1の微小開口よりも小さい第2の微小開口を形成する工程と、を含むことを特徴としている。

従って、シリコン基板等の平面基板に目的とする大きさや形状よりも大きな微小開口（第1の微小開口）を形成し、この微小開口のテーパ部を含めた表面を熱酸化またはイオン注入することによって膨張した部分が、実際に近視野光を生成するための微小開口（第2の微小開口）の大きさおよび形状を規定しているので、エッチング処理等によりシリコン基板に開口を微小に形成する際のばらつきの問題を、比較的制御の容易な熱酸化またはイオン注入処理によって解消することができ、歩留まり良く平面プローブを得ることができる。

10

また、上記の目的を達成するために、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、逆錐状の穴がその頂点を微小開口とするように貫通して形成された平面基板と、前記平面基板の、前記微小開口が形成された面と反対側の面上、および前記逆錐状の穴の内側に積層形成された光導波路と、前記光導波路の一部により形成され、前記平面基板の微小開口から突出し、先鋭化された微小な突起部とを備えている。

20

また、前記突起部を除き、前記光導波路の周囲には、光を反射する光反射層を形成している。

従って、光導波路の構造により近視野光を発生する突起部に多くの光を供給できるとともに、光反射層による光の反射により光導波路の先端（突起部）方向に多くの光を供給することができ、先端部に形成された微小な突起部より発生する近視野光の強度の増加が図れるとともに、機械的な強度の大きい、コンパクトな構成でかつ、量産性に優れた近視野光ヘッドを提供できる。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記微小な突起部は、四角錐状の形状をしていることを特徴としている。

従って、突起部において、光導波路の幅が光の波長より小さい寸法の領域が狭くなり、突起部より生成される近視野光の強度の増加が図れるとともに、先鋭化された突起部の先端の曲率半径に相当する高い分解能の観察が行える。

30

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記逆錐状の穴が、斜度の異なる複数の斜面により形成されたことを特徴としている。

従って、光導波路が緩やかな湾曲形状を有する構造にすることで、総じて湾曲部での光伝搬のロスを減少することができ、突起部より生成される近視野光の強度の増加が図れる。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記光導波路が、クラッドとコアとの組み合わせによって構成されていることを特徴としている。

従って、光導波路を、屈折率の異なるコア、クラッドの構成とすることで、光の伝搬効率のよい近視野光ヘッドを提供できる。

40

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記平面基板は、前記微小な突起部を複数有し、前記光導波路および前記光反射層は、少なくとも一つの光源より発した光を、前記複数の微小な突起の方向に導くように形成されたことを特徴としている。

従って、光導波路および光反射層を有する構造により、光導波路の先端部に位置する微小な突起部に光を効率よく伝搬することができ、且つ突起部での光導波路の幅が光の波長より小さい寸法の領域を狭くする構造とすることで、突起部より生成される近視野光の強度の増加が図れるとともに、先鋭化された突起部の先端の曲率半径に相当する高い分解能の観察が可能な近視野光ヘッドを提供できる。また、機械的な強度の大きい、コンパクトな構成でかつ、量産性に優れた近視野光ヘッドを提供できる。このようなプローブを2次元的に走査することによって、高分解能の近視野光学像を全体として高速に処理すること

50

ことが可能となる。また、アレイ化することでプローブの高速な掃引を必要としなで情報の高速な記録かつ再生を可能とした光プローブを提供できる。

次に、本発明に係わる近視野光ヘッドの製造方法では、平面基板に、逆錐状の穴を形成する工程と、光導波路を、前記逆錐状の穴の内側を含む前記平面基板上に積層形成する工程と、前記平面基板の前記逆錐状の穴と反対側の面上に、光の検出あるいは照射を行う微小な突起を形成する工程と、光反射層を、光路を曲げるように前記光導波路に形成する工程とを含むことを特徴としている。

また、逆錐状の穴がその頂点を微小開口とするように貫通して形成された平面基板と、前記平面基板の、前記微小開口が形成された面と反対側の面上、および前記逆錐状の穴の内側に積層形成された光導波路と、前記光導波路の一部により形成され、前記平面基板の微小開口から突出し、先鋭化された微小な突起部とを備えたことを特徴とする近視野光ヘッドを製造するにあたり、前記光導波路および前記光反射層は、前記平面基板に積層されて形成されることを特徴とすることを特徴としている。

従って、このような製造方法では、フォトリソグラフィ技術を用いた半導体製造プロセスにて作製でき、コンパクトな構成で、良好な再現性を有し、量産性に優れた近視野光ヘッドを提供できる。また、同一基板上に複数の開口を形成するアレイ化した近視野光ヘッドを提供できる。

さらに上記の目的を達成するために、近視野光を利用して記録媒体の情報の記録及び／または再生を行う近視野光ヘッドにおいて、少なくとも1つの逆錐状の穴がその頂部を微小開口とするように貫通して形成された第1のクラッドと、逆錐状の穴の側面に沿って深さ方向に形成されたコアと、コアを第1のクラッドと挟むように形成された第2のクラッドとからなる光導波路と、光導波路の一端面に形成された第1の反射膜とを備えることを特徴とする。

また、コアの入射端面に入射された光は、コア内部を伝搬した後、第1の反射膜により微小開口へ向けて反射される。そして、反射された光は、逆錐状の穴に形成されたコアを伝搬した後、微小開口から出射され、該微小開口近傍には、近視野光が生成される。このように、従来の光ファイバに代えて、光導波路を用いた構成としているので、小型・軽量化を図ることができる。

また、第1のクラッドの裏面に形成され、かつ微小開口に対応する位置に微小径穴を有する第2の反射膜を備えることを特徴とする。

従って、第2の反射膜を形成したことにより、コアの漏洩光が光導波路の外部に漏洩することがないため、記録媒体の記録面における光照射範囲が効果的に狭められる。

また、光導波路の一端面は、曲面とされていることを特徴とする。

従って、光導波路の一端面が曲面とされているため、第1の反射膜が凹面鏡として作用し、コアを伝搬してきたレーザ光が該第1の反射膜により集光されて微小開口方向へ反射される。

また、近視野光を利用して記録媒体の情報の記録及び／または再生を行う近視野光ヘッドにおいて、少なくとも1つの逆錐状の穴がその頂部を微小開口とするように貫通して形成されたクラッドと、穴の側面に沿って深さ方向に形成されたコアとからなる光導波路と、光導波路の一端面に形成された反射膜と、コアに接合され、かつその屈折率がコアの屈折率と異なる基板とを備えることを特徴とする。

従って、基板は、コアに接合され、かつその屈折率がコアの屈折率と異なるため、光導波路のクラッドとして作用する。

また、近視野光を利用して記録媒体の情報の記録及び／または再生を行う近視野光ヘッドの製造方法において、基板に第1のクラッドを形成する第1の工程と、第1のクラッドに、少なくとも1つの逆錐状の穴を、その頂部を微小開口とするように形成する第2の工程と、第1のクラッドに沿い、かつ逆錐状の穴の側面に沿って深さ方向にコアを形成する第3の工程と、コアを前記第1のクラッドと挟むようにして第2のクラッドを形成する第4の工程と、第1のクラッド、コアおよび第2のクラッドからなる光導波路の一端面に反射膜を形成する第5の工程と、基板を除去する第6の工程とを備えることを特徴とする。

従って、第1の工程では、基板に第1のクラッドが形成され、第2の工程では、第1のクラッドに、逆錐状の穴がその頂点を微小開口とするように形成され、第3の工程では、第1のクラッドに沿い、かつ逆錐状の穴の側面に沿って深さ方向にコアが形成される。さらに第4の工程では、コアを第1のクラッドと挟むようにして第2のクラッドが形成され、第5の工程では、光導波路の一端面に反射膜が形成され、最後の第6の工程では、基板が除去されることにより、光導波路を有する近視野光ヘッドが製造される。

また、上記の目的を達成するために、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、記録媒体に向かって先鋭化した光伝搬体からなるテーパ部の頂点に形成した微小開口と、前記記録媒体に対し略水平方向に光を伝搬させる光導入部と、前記光導入部を伝搬した光を前記微小開口方向に反射する光反射層とを備えたことを特徴としている。

10

従って、上方より近視野光ヘッドに光を入射させる場合に装置構成が大型化する問題に対し、記録媒体に対し平行方向から近視野光ヘッドに光を導入させることにより、装置全体の小型化、薄型化が可能となるとともに、高速運動する記録媒体のうねりに追従し、常に記録媒体に対して一定の相対位置を保つことが可能であるため、記録媒体に対し常に安定した近視野光の供給が可能となり、信頼性の高い近視野光ヘッドが作製できる。

さらに、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記テーパ部の少なくとも一部が頂点の広がり角の異なる複数のテーパの組み合わせにより構成されていることを特徴としている。特に、前記複数のテーパにおいて、前記複数のテーパの平均の広がり角より大きい広がり角をもつテーパが前記微小開口近傍にあることを特徴としている。あるいは、前記テーパ部の少なくとも一部が曲面状のテーパを有することを特徴としている。特に、前記曲面状のテーパの少なくとも一つは、前記微小開口近傍において、開口に近づくに従って広がり角が大きくなることを特徴としている。

20

従って、光伝搬体の幅が波長以下となる領域において光強度の減衰が激しくなるが、この領域が狭い構造を得ることにより、微小開口より多くの近視野光を生成することが可能となり、この結果、記録媒体の情報の記録および再生においてS/N比の高い信号を扱うことから信頼性の高い近視野光ヘッドを供給できる。また、レーザ光源での光量が少ない場合でも、近視野光への変換効率が高いことから、記録媒体に必要なとされる近視野光の供給が可能となる。よって、レーザ光源での電力が節約でき、低消費電力および低電圧駆動可能な情報再生記録装置の供給が可能となる。

あるいは、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記テーパ部が頂点を通る中心軸に対し、非対称な形状であることを特徴としている。

30

従って、その特徴的な形状の影響による近視野光の分布を記録媒体に照射することで、効果的に照射範囲を決定でき、目的にあわせた情報の記録および再生が可能となる。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記光伝搬体の少なくとも一部が誘電体であることを特徴としている。

従って、開口までの光伝搬媒体の屈折率が空気の場合より大きいため、伝搬する光から開口を見た場合、見かけ上の開口サイズが屈折率倍となり、伝搬させる波長が同一である場合、開口での透過率が向上する。あるいはその誘電体に屈折率分布や曲面形を形成することでレンズとして機能し、その焦点を開口に合わせることにより、さらに大きな近視野光の生成が可能となる。

40

あるいは、前記光伝搬体の少なくとも一部が空気であることを特徴としている。エッチングにて穴を空けることにより開口作製が可能であるため、工程の簡略化が可能となり、低コストで作製できる。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記テーパ部の少なくとも一部が金属で覆われていることを特徴としている。

従って、テーパ部の金属による光の反射により開口へ伝搬する光量が増し、多くの近視野光を生成できる。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記テーパ部の少なくとも一部が誘電体で覆われていることを特徴としている。あるいは、前記テーパ部の少なくとも一部が前記光伝搬体を構成する誘電体の屈折率より小さい屈折率をもつ誘電体で覆われていること

50

を特徴としている。

従って、テーパ部での屈折率差による全反射により開口へ伝搬する光量が増し、多くの近視野光を生成できる。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記微小開口より突出した突起部を備えたことを特徴としている。さらに、突起部の少なくとも一部が誘電体であることを特徴としている。

従って、突起の形状による特徴的な近視野光の空間分布が生じ、これを利用して効果的に照射範囲を決定できる。

また、前記突起部の少なくとも一部が金属で覆われていることを特徴としている。

従って、記録媒体表面に生じた近視野光を突起形状に依存した範囲にわたって散乱でき、効果的に散乱範囲を決定できる。

10

また、前記突起部が錐体形状をしていることを特徴としている。

従って、先鋭化した先端部の周りに生じた近視野光により、高分解能な情報の記録および再生が可能となる。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記記録媒体側から受ける浮上力と記録媒体方向にかかる負荷加重により記録媒体との相対位置を一定に保つことを特徴としている。さらに、前記浮上力が、前記記録媒体の高速運動により発生する空気圧であることを特徴としている。あるいは、前記浮上力が、前記記録媒体表面に一定の厚みで塗布された液体の圧力によるものであることを特徴としている。

また、前記記録媒体との間に生ずる電氣的相互作用を制御することにより前記記録媒体との相対位置を一定に保つことを特徴としている。あるいは、前記記録媒体との間に生ずる原子間力相互作用を制御することにより前記記録媒体との相対位置を一定に保つことを特徴としている。

20

従って、記録媒体を高速に再生させながら、記録媒体との間隔を一定にかつその距離を十分近接した状態に保てることから、微小ビットの高速処理が達成できる。さらに装置構成の小型化も実現する。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記記録媒体に対向する面にスライダ構造を有することを特徴としている。

従って、近視野光ヘッドの安定した浮上が得られ、記録媒体表面において常に一定の近視野光の供給が可能となることから、誤り率の低く信頼性の高い情報記録再生装置を作製できる。

30

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記微小開口がスライダ面に形成されていることを特徴としている。さらに、前記記録媒体と前記微小開口との間隔が、前記記録媒体と前記スライダ面との間隔とほぼ同一であることを特徴としている。また、前記テーパ部と前記スライダ構造が近接して設けられていることを特徴としている。あるいは、前記スライダ構造が前記テーパ部の周囲180度を囲むように配置されていることを特徴としている。

従って、微小開口とメディアとの距離を近接させながら、記録媒体との接触による損傷を低減できる構造であるため、壊れにくく丈夫で、しかも信頼性の高く、また、信号S/N比の大きな近視野光ヘッドが作製できる。

40

また、前記スライダ構造の少なくとも一部が誘電体であることを特徴としている。あるいは、前記スライダ構造の少なくとも一部が金属であることを特徴としている。

従って、スライダの表面を滑らかで凹凸がほとんどないような状態に加工でき、メディアへの接触を少なくし、近接できる。また、シリコンプロセスに採用でき、量産性が向上する。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記光反射層の少なくとも一部が金属であることを特徴としている。さらに、前記光反射層が、前記微小開口方向へ反射する光を集光する集光機能を有することを特徴としている。また、前記光反射層の光を反射する面が凹曲面であることを特徴としている。あるいは、前記光反射層の光を反射する面にグレーティング構造を有することを特徴とする請求項61に記載の近視野光ヘッド。

50

従って、記録媒体の平行方向より伝搬してきた光を開口方向へ反射でき、上方より照射することにより、テーパの反射による効果により開口より多くの近視野光を生成できる。また、集光機能を備えることにより、さらに開口へ集まる光が多くなり、より多くの近視野光の生成が可能となる。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記光反射層は、前記光導入部の一部を加工し、その加工した面上に積層することにより形成することを特徴としている。

従って、シリコン等を用いた微細加工プロセスにおいて作製可能な工程であることから量産に適した構造であり、低価格で作製できる。また、ファイバあるいは光導波路自体を加工することから、屈折率変化による損失等の伝搬ロスが少なく、開口への光供給量が向上する。

10

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記光反射層は、化学エッチングを施すことにより面方位によって決定される一定角に形成される斜面上に、積層することにより形成されることを特徴としている。さらに、前記面方位により決定される一定角を有する斜面が(100)面単結晶シリコンに形成される(111)面であることを特徴としている。あるいは、前記光反射層による光の反射方向が、光導入部での伝搬方向に対し、略70度の方向であることを特徴としている。

従って、微細プロセスによる作製により一定の角度が得られ、開口へは常に一定の光量の供給が可能となる。また、光導入部を伝搬してきた光は、一回の反射で開口に到達するため、2回3回反射して開口に到達する場合に比べ、反射による光量の減衰を低減できる。また、シリコンプロセスに適應でき、小型化・量産性に優れた近視野光ヘッドが作製できる。

20

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記光導入部の少なくとも一部が誘電体であることを特徴としている。あるいは、前記光導入部の少なくとも一部が空気であることを特徴としている。

従って、伝搬中での損失が極めて少なく、レーザ光源からの光を十分に光反射層に供給できる。

さらに、前記光導入部の少なくとも一部が光ファイバであることを特徴としている。また、前記光導入部の少なくとも一部が相対的に屈折率の高いコアと相対的に屈折率の低いクラッドの組み合わせを含むことを特徴としている。

従って、レーザ光源からの光を散乱させることなく、微小な領域に納めたまま、減衰させずに確実に光反射層に供給できる。また、任意の照射スポットを設定でき、確実に開口に光を供給することができる。

30

さらに、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記光導入部の少なくとも一部に前記微小開口へ伝搬する光を集光する集光機能を有することを特徴としている。あるいは、前記光導入部の光伝搬方向に垂直な面の少なくとも一部が凸面形であることを特徴としている。また、前記光導入部の少なくとも一部にグレーティング構造を有することを特徴としている。また、前記光導入部の少なくとも一部に段階的に屈折率が異なる屈折率勾配を有することを特徴としている。

従って、開口に微小スポットがあたるようにこれら集光機能の設定を施すことにより、開口から多くの近視野光を生成することができ、信号S/N比の大きな近視野光ヘッドが形成される。

40

さらに、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記テーパ部内の少なくとも一部に、前記微小開口に光を集光する集光機能を有する集光機能体を設けたことを特徴としている。あるいは、前記光反射層と前記テーパ部との光路間の少なくとも一部に、前記微小開口に光を集光する集光機能を有する集光機能体を設けたことを特徴としている。また、前記光反射層の少なくとも一部に、前記微小開口に光を集光する集光機能を有する集光機能体を設けたことを特徴としている。また、前記光導入部の少なくとも一部に、前記微小開口に光を集光する集光機能を有する集光機能体を設けたことを特徴としている。

従って、近視野光ヘッドの上方から開口に向かって光を照射した場合に、ヘッドの微小な動きにより焦点位置が開口からずれ記録再生信号が大きく変動した問題に対し、近視野光

50

ヘッド内に集光機能を設け、開口に集光するよう設定することにより、ヘッドの動きに関係なく常に開口に焦点を合わせた状態で記録再生でき、十分多い近視野光を常に発生できることからS/N比が大きく信頼性の高い情報記録再生装置を作製できる。

さらに、前記集光機能体の少なくとも一部が誘電体であることを特徴としている。また、前記集光機能体の、光伝搬方向に垂直な面の少なくとも一部が凸面形であることを特徴としている。さらに、前記集光機能体が球形であることを特徴としている。また、前記集光機能体の少なくとも一部が段階的に屈折率が異なる屈折率勾配を有することを特徴としている。また、前記集光機能体の少なくとも一部がグレーティング構造を有することを特徴としている。

従って、これらレンズの効果により開口より十分大きな近視野光の生成が可能となり、S/N比が大きく信頼性の高い情報記録再生装置を作製できる。また、レーザ光源の光量を減少させた場合でも、開口より大きな近視野光が生成でき、低消費電力あるいは低電圧駆動の情報記録再生装置を作製できる。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記微小開口と前記光反射層とが近接して設けられていることを特徴としている。あるいは前記微小開口と前記光反射層との距離が20 μm 以下であることを特徴としている。

従って、光反射層で反射され開口方面へ伝搬していく光が発散光の場合でも、開口を光反射層の近傍に設けることにより、開口に照射される光のスポットサイズは、反射面でのスポットサイズ程度の大きさであり、エネルギー密度の高い光が開口に照射されることになる。よって、開口より大きな近視野光を生成でき、信頼性の高い近視野光ヘッドが形成できる。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記記録媒体に対向する面に前記微小開口を有する開口基板を備えたことを特徴としている。この開口基板に対し、前記光反射層が、前記開口基板の前記微小開口が形成された反対面上に積層され形成されていることを特徴としている。あるいは、前記光反射層が、前記開口基板の前記微小開口が形成された反対面上に接合され形成されていることを特徴としている。また、前記光反射層が、前記開口基板の前記微小開口が形成された面内に積層され形成されていることを特徴としている。あるいは、前記光導入部が、前記開口基板の前記微小開口が形成された反対面上に積層され形成されていることを特徴としている。また、前記光導入部が、前記開口基板の前記微小開口が形成された反対面上に接合され形成されていることを特徴としている。あるいは、前記光導入部が、前記開口基板の前記微小開口が形成された面内に積層され形成されていることを特徴としている。また、前記集光機能体が、前記開口基板の前記微小開口が形成された反対面上に積層され形成されていることを特徴としている。あるいは、前記集光機能体が、前記開口基板の前記微小開口が形成された反対面上に接合され形成されていることを特徴としている。

従って、基板の上面に積層あるいは接合させてそれぞれの機能を設けたデバイスを形成する場合、シリコンプロセス等の微細加工を用いて作製でき、近視野光ヘッドの小型化さらには情報記録再生装置自体の小型化が可能となる。さらに、近視野光ヘッドの小型化は、記録媒体へのよりいっそうの近接が可能となり、近接した微小開口を利用した微小ビットの読み出し、書き込むが可能となり、高密度情報記録再生装置の作製が可能となる。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドの製造方法においては、記録媒体に向かって先鋭化した光伝搬体からなるテーパ部の頂点に形成した微小開口と、記録媒体に対し略水平方向に光を伝搬させる光導入部と、光導入部を伝搬した光を微小開口方向に反射する光反射層と、光反射層とテーパ部との光路間もしくはテーパ内に設け、光伝搬方向に垂直な面の少なくとも一部が凸面形である集光機能体あるいは段階的に屈折率が異なる屈折率勾配を有する集光機能体とを備えた近視野光ヘッドを製造するにあたり、

前記集光機能体は、化学的エッチングによりその表面を加工することにより形成されることを特徴としている。

あるいは、前記集光機能体は、その表面の一部からイオン交換を施すことにより形成されることを特徴としている。

あるいは、前記集光機能体は、その表面の一部からイオン交換を施すことにより形成されることを特徴としている。

あるいは、前記集光機能体は、表面張力により曲面をした液体をUV照射により硬化させることにより形成されることを特徴としている。

あるいは、前記集光機能体は、表面張力により曲面をした液体を熱硬化させることにより形成されることを特徴としている。

また、記録媒体に向かって先鋭化した光伝搬体からなるテーパ部の頂点に形成した微小開口と、記録媒体に対し略水平方向に光を伝搬させる光導入部と、光導入部を伝搬した光を微小開口方向に反射する光反射層と、前記テーパ部を覆った金属を備えた近視野光ヘッドを製造するにあたり、

前記テーパ部は、化学反応を用いた表面加工を行うより形成されることを特徴としている。

あるいは、前記微小開口は、金属より堅い材料で前記テーパ部頂点付近の前記金属を塑性変形させることにより形成されることを特徴としている。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドの製造方法においては、記録媒体に対向する面に記録媒体に向かって先鋭化した誘電体からなるテーパ部を形成する工程と、テーパ部の周囲に金属膜を積層する工程と、テーパ部頂点の金属膜を加工することにより、微小開口を形成する工程と、微小開口を形成した反対面上を凸面形に加工する工程あるいは微小開口を形成した反対面上にイオン交換することにより凸面形を形成する工程あるいは微小開口を形成した反対面上に液体を吹き付けUV硬化することにより凸面形を形成する工程あるいは微小開口を形成した反対面上にイオン交換することにより屈折率の異なる屈折率勾配を形成する工程と、記録媒体に対し略水平方向に光を伝搬させる光導入部、および光導入部を伝搬した光を微小開口方向に反射する光反射層を、凸面系に加工した面上あるいは屈折率勾配を形成した面上に接合する工程と、を含むことを特徴としている。

また、記録媒体に対向する面に記録媒体に向かって先鋭化した誘電体からなるテーパ部を形成する工程と、テーパ部の周囲に金属膜を積層する工程と、テーパ部頂点の金属膜を加工することにより、微小開口を形成する工程と、微小開口を形成した反対面上に球形レンズを接合する工程と、記録媒体に対し略水平方向に光を伝搬させる光導入部、および光導入部を伝搬した光を微小開口方向に反射する光反射層を、球形レンズ面上に接合する工程と、を含むことを特徴としている。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドの製造方法においては、記録媒体に対向する面に記録媒体に向かって先鋭化した空気からなるテーパ部ならびにその頂点に第1の微小開口を形成する工程と、テーパ部の周囲に金属膜を積層し、第2の微小開口を形成工程と、第2の微小開口を形成した反対面上に光伝搬方向に垂直な面の一部が凸面形をした誘電体あるいは屈折率が異なる屈折率勾配を有する誘電体あるいは球形レンズを接合する工程と、記録媒体に対し略水平方向に光を伝搬させる光導入部、および光導入部を伝搬した光を微小開口方向に反射する光反射層を、誘電体の面上に接合する工程と、を含むことを特徴としている。

また、記録媒体に対向する面に記録媒体に向かって先鋭化した空気からなるテーパ部ならびにその頂点に第1の微小開口を形成する工程と、テーパ部の周囲に金属膜を積層し、第2の微小開口を形成工程と、第2の微小開口を形成した反対面上に液体を吹き付けUV硬化することにより凸面形を形成する工程と、記録媒体に対し略水平方向に光を伝搬させる光導入部、および光導入部を伝搬した光を微小開口方向に反射する光反射層を、凸面形を形成した面上に接合する工程と、を含むことを特徴としている。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドの製造方法においては、記録媒体に向かって先鋭化した光伝搬体からなるテーパ部の頂点に形成した微小開口と、記録媒体に対し略水平方向に光を伝搬させる光導入部と、光導入部を伝搬した光を微小開口方向に反射する光反射層と、記録媒体に対向する面に微小開口を有する開口基板とを備えた近視野光ヘッドを製造するにあたり、前記微小開口および前記光導入部および前記光反射層は、前記開口基板の前記記録媒体に対向する面に積層した材料を加工することにより形成されることを特徴と

10

20

30

40

50

している。

また、化学反応を用いることにより、面方位で規定される一定の角度を有する斜面を記録媒体に対向する面に形成する工程と、斜面上に金属を積層することにより光反射層を形成する工程と、光反射層上面に誘電体を積層することにより光導入部を形成する工程と、積層した誘電体を平坦化する工程と、化学反応を用いて、誘電体の一部を記録媒体に向かって先鋭化したテーパ状に加工する工程と、テーパの上面に金属膜を積層する工程と、テーパ部頂点の金属膜を加工することにより微小開口を形成する工程と、を含むことを特徴としている。

従って、このような製造方法の採用は、シリコンプロセスといった微細加工プロセスに対応できることにより、近視野光ヘッドの小型化およびコンパクトな構成が実現する。また、安定した作製工程であるため精度の高い集光機能体が作製でき、信頼性の高く良好な再現性を有する近視野光ヘッドが形成できる。また、バッチ処理可能であり、量産対応することにより低コストで近視野光ヘッドの作製ができる。また、このような製造方法を用いることにより、記録媒体に近接させながら、その高速な動きに対応し、常に記録媒体との距離を一定に保ち、かつ常に安定して微小開口より多くの近視野光の生成ができることにより、高速で微小ビットの情報の再生あるいは記録を高いS/N比でかつ高速で処理できる近視野光ヘッドの供給が可能となる。

また、本発明に係わる近視野光ヘッドにおいては、前記微小開口を複数有し、前記光導入部および前記光反射層は、少なくとも一つの光源から発した光を、前記複数の微小開口の方向に導くように形成されたことを特徴としている。

従って、近視野光ヘッドを2次元的に走査し、複数の微小開口で記録媒体上の複数の微小ビットの情報を同時に処理することにより、記録媒体の回転速度を高速にしなくても全体的に高速に処理することができる。

発明を実施するための最良の形態

以下に、本発明に係わる近視野光ヘッドの実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

(実施の形態1)

図1に本発明の実施の形態1に係る光記憶再生装置の一例の概略図を示す。高速に回転するディスク101(メディア)上には、その回転により発生する流体運動により受ける浮上力とアーム103による負荷荷重によりディスク101との距離を一定に保っている近視野光ヘッド102が配置されている。ディスク101との距離を一定に保つ方法として、近視野光ヘッド102とメディア表面との間に生じるトンネル電流や原子間力といった相互作用を制御する方法を採用しても良い。近視野光ヘッド102はアーム103の先端部に支持されており、モータ付きの回転軸104によりアーム103を水平方向に動かすことにより、近視野光ヘッド102をディスク101上の任意の場所に走査することができる。アーム103に接続した光導波路(光ファイバでも良い)105を伝搬した光は、フレクチャの機能を障害することなく、近視野光ヘッド102内の、メディア面に対し平行方向に光を伝搬させる光導波路(光導入部)に導入され(光ファイバを直接ヘッドに挿入しても良い)、近視野光ヘッド102内に形成された反射層あるいは集光機能を経由し、近視野光ヘッド102のディスク側面内に形成された微小開口より近視野光に変換されてディスク101に照射される。この近視野光とディスク101表面の微小領域との相互作用により発生した散乱光を近視野光ヘッド102内もしくは近視野光ヘッド102近傍あるいはディスク101の裏面に設けた受光素子により電気信号に変換され、信号処理回路へと送られて、微小領域情報が再生される。近視野光ヘッド102のメディア側となる面の形状は、エアーダンピングが行えるようにフラットな平板な面か、あるいは図2から図4に示すように空気流の道ができるように直方体の板(202, 302, 402)を数本並んで接続されたような凸凹型をしていても良い。平板な面の場合、近視野光を生成する微小開口はその平面内に存在する。凸凹型の面の場合、微小開口203は図2のように接続された直方体の板202のメディア側面内に存在するか、あるいは図3のように直方体の板302の間、あるいは横の凹んでいる部分の面上に錐状の突起304を形成し、そ

10

20

30

40

50

の先端部に微小開口 303 を形成しても良い。また、接続された直方体の板 402 をくり抜き、その内側に先端に微小開口 403 を形成した錐状の突起 404 を設けた構成を用いてももちろん良い（図 4）。

また、開口とメディアとの距離を近接させる方法として、近視野光とメディアとの間に潤滑剤を充填し、メディアを回転するなどして潤滑剤の厚みを一定にし、近視野光ヘッドを十分に薄く形成することで、潤滑剤の表面張力を利用して近視野光ヘッドとメディアとの距離を十分小さく維持できる。さらにメディアの歪みに対しても十分追従できるため、有効な手段となる。

ここで、近視野光ヘッドの構成について説明する。図 5 は、実施の形態 1 に係る近視野光ヘッド 500 の一部の断面図を示している。図 5 において、開口 506 を有するシリコン基板 501 上に、光反射膜 502 を介して光導波路 504 を設け、またその上面には光反射膜 503 を設けている。

10

シリコン基板 501 はこれを貫通するようにテーパ部 507 が形成され、微小な開口 506 を有している。開口 506 は、テーパ部 507 から導入される光によって近視野光が生成されるように、200 ナノメートル以下の微小な径を有している。テーパ部 507 は、異方性を有するシリコンのエッチング技術によりシリコン基板 501 を加工することにより形成される。このテーパ部 507 には、上部より伝わった光を反射し、より多くの光を開口 506 に集光できるように光反射膜 502 が形成される。

テーパ部 507 の内側およびシリコン基板 501 上には光導波層 504 が形成される。また、光導波層 504 上には、ミラーの反射効率を向上するように、あるいは光導波路 504 での伝搬効率を向上するように、光反射膜 503 が形成される。図中には示していないが、レーザ光源あるいは光ファイバより出力された光は、光入射端 505 より光導波路 504 内に入射し、光導波路 504 により開口 506 上面に導かれる。開口 506 上には、光の方向を変えるミラー部 508 が設けてあり、光導波路 504 を伝搬してきた光はこのミラー部 508 で反射し、進行方向を開口方向に向けて進んでいく。ミラー部 508 は凹面の形状をしており、反射する光は開口 506 近辺に集光される。

20

また、ミラー部 508 に、グレーティングを形成しても良い。ミラー部 508 に、波長入程度のピッチで溝を形成する。ここで反射する光は、グレーティングの効果により、開口 506 近辺に集光される。ミラー部 508 で反射され、開口 506 方向に伝搬する光は、テーパ部 507 内側に形成された光反射膜 502 により反射され、さらに開口 506 方向に集光される。このように、集光されることにより、局所的な高エネルギーの光が集められ、開口 506 に生ずる近視野光の強度を増大させる。

30

図 6 (A) および図 6 (B) は、図 5 に示した近視野光ヘッド 500 の製造工程の 1 つを示す説明図である。図 6 (A) は側面からみた形状を、図 6 (B) は上面からみた形状を示す。はじめに、ステップ S101 では、シリコンの異方性を有するエッチング法にてシリコン基板 501 内にテーパ部 507 を形成する。例えば、(100) 結晶方位を有するシリコン基板の上面に異方性エッチングのマスクとなる熱酸化膜または、窒化膜を設け、通常の半導体工程で使用されるフォトリソグラフィ技術をもちいてマスクに開口窓を設け、エッチングされるシリコン表面を露出させる。

続いて、開口窓が形成された面をエッチング溶液にさらし、シリコン基板 501 に逆ピラミッド構造をした四方面のテーパを形成する。次にシリコン基板 501 上に形成したマスク材を除去することにより、テーパ部 507 が形成されたシリコン基板 501 を得ることができる。エッチング溶液として、例えば、水酸化カリウム (KOH) 水溶液あるいはテトラメチルアンモニウムハイドロオキシド (TMAH) 水溶液といった面方位によってエッチング速度が異なる溶液を使用することにより、容易にテーパを形成することが可能である。また、エッチング溶液に浸すことに代わり、異方性を有するドライエッチング、例えば反応性イオンエッチング (RIE) 装置によるエッチングを用いることによってもテーパ部の形成が可能となる。

40

続いて、ステップ S102 では、シリコン基板 501 を裏面側よりエッチングし、基板の厚みを薄くすることにより、シリコン基板 501 内に微小な開口 506 を形成する。なお

50

、このエッチングは開口506が形成されたところで終了する。その結果、テーパ部507の底面に開口506が形成される。開口506は、50nmから3μm程度のサイズに形成される。エッチングは、ウェットエッチングを用いても、ドライエッチングを用いても良い。

また、ステップS102の工程を行わず、ステップS101の工程にて開口506を形成してもよい。つまり、表面からエッチングを行って、シリコン基板1を貫通させ、開口506を形成することができる。

続いて、ステップS103では、テーパ内部およびシリコン基板上面にアルミニウム（Al）や金（Au）といった光反射率の高い材料を積層し、光反射膜502を形成する。光反射膜502を形成することで、開口近辺に伝搬された光を反射し、開口506に集光することが可能となる。この結果、開口506に集光される光の強度が増大し、強度の大きな近視野光を発生させることができる。

10

続いて、ステップS104では、光反射膜502上に、光導波路504を積層する。光導波路504の材料は、酸化シリコンや窒化シリコン等の誘電体材料、あるいは、ポリイミドやポリメタクリル酸といった高分子材料を使用する。誘電体材料である酸化シリコンの場合、スパッタリング法、CVD法、真空蒸着法によって容易に形成できる。この光導波路504を屈折率の異なるコア、クラッドにより形成してもよい。この場合、光はコアを全反射して伝搬していくため、伝搬ロスを減少させることができる。

また、ステップS104では、あらかじめ作成された光導波路504を、光反射膜502上に接合して形成してもよい。この場合、図6に示すようにテーパ内に光導波路を形成せずに、シリコン基板501の上面のみに光導波路を配置するようにしても良い。光導波路の接合方法としては、陽極接合法、金属接合法などが使用できる。陽極接合法を使用する場合は、シリコン基板501上の光反射膜502の一部を剥離し、光導波路504となる酸化シリコンをシリコン基板表面に接合する。金属接合法を使用する場合は、光導波路504の接合面に、光反射膜502と同様な材料を形成し、光反射膜502と接合する。

20

続いて、ステップS105では、フォトリソグラフィ技術とエッチングを用いて、光導波路504の形状を調製する。通常の半導体製造工程で用いられるフォトリソグラフィ技術を使用して、光導波路504上にエッチングを保護するマスク材を積層してパターニングを行なう。その後、光導波路504をエッチングし、マスク材を除去することにより、光導波路504をパターニングできる。この光導波路504のパターニングに際し、同時にミラー部508を形成する。

30

ミラー部508は、水平方向より進んできた光を開口506の方向に反射できる角度に形成され、さらに、反射した光を開口506の近辺に集光するように凹面形状をしている。このような形状をしたミラー部508を形成するために、光導波路504のエッチングは、反応性イオンエッチングに代表される異方性を有するドライエッチング法を用いる。

また、ミラー部508を、グレーティング形状に作製しても良い。この場合、ミラー部508に、波長λ程度のピッチで溝を作製する。グレーティングの作製は、電子ビーム加工、ドライエッチング法、収束イオンビーム法などの微細加工方法を用いることができる。

最後に、ステップS106では、光導波路504上に、光反射膜503を形成する。光反射膜503には、光反射率の高いAl、Auといった金属材料を使用し、スパッタリング法あるいは真空蒸着法にて形成する。光反射膜503により、ミラー部508で光を反射し、多くの光を開口506の近辺に集光することが可能となる。この結果、開口506に到達する光の強度が増大し、強度の大きな近視野光を発生させることが可能となる。また、光反射膜503を設けることで、上方あるいは側面からの光ノイズを除去できる。

40

以上、本発明の実施の形態1における近視野光ヘッドでは、光を反射する機能に加え、光を集光する機能を有した構造をしており、開口近辺に多くの光を照射することが可能となり、光強度の大きい近視野光を容易に発生させることができる。

また、半導体製造プロセスに用いられる技術によって微小な開口を形成できるため、このような開口を有するシリコン基板は、近視野光を生成できる平面プローブとして、特に同一シリコン基板上に複数の開口を形成するアレイ化を容易とする。また、シリコンプロセ

50

スを経て作製するので、バッチ処理が可能となり、量産に適したものとなる。また、ウェハに対する一括した工程で作製できるため、形成される平面プローブまたは形成される開口のばらつきが少なく、製品特性が安定する。また、プローブの小型化が可能となり、ウェハあたりの取り個数が増加するので、コスト低減を図ることができる。

また、実施の形態 1 に係る近視野光ヘッドは、一般的な半導体プロセスにて形成されているため、上述したように、同一シリコン基板上に 2 次元的に複数個配列させることが容易となる。図 7 に、近視野光ヘッドを同一シリコン基板上に 2 次元的にアレイ状に配置した近視野光ヘッドアレイ 700 の構成を示す。1 つの光源 702 から照射された光が、4 つの近視野光ヘッド 701 の開口上面に導かれるように光導波路 703 が形成される。光源 702 によって照射された光は、シリコン基板 704 の端面に存在する光導波路 703 の入射端に照射され、光導波路 703 内に導入される。導入された光は、光導波路 703 内を通り、図 5 と同様に、テーパ部内に設けた光反射膜により反射されながら、効率良く各々の近視野光ヘッド 701 の開口近辺に導かれる。導かれた光によって、各々の開口からは近視野光が生成される。図 7 に示した近視野光ヘッドアレイ 700 においては、1 つの光源に対して、1 つのシリコン基板 704 上に 4 つの近視野光ヘッド 701 を記しているが、これに限らず、様々な組み合わせが可能である。

上記のように、実施の形態 1 に係る近視野光ヘッドは、同一シリコン基板上に 2 次元的に複数個配列する構成が可能のため、記録媒体上におけるヘッドの掃引を最小限に抑え、高速な光記録および読み出しが可能となり、更には、前記配列間隔を記録媒体上の情報記録単位間隔に適合させることによってトラッキングレスを実現することができる。

(実施の形態 2)

図 8 は、実施の形態 2 に係る近視野光ヘッド 800 の一部の断面図を示している。図 8 において、実施の形態 1 に係る近視野光ヘッド 500 と同様に、開口 806 を有するシリコン基板 801 上に、光反射膜 802 を介して光導波層 804 を設け、またその上面には光反射膜 803 を設けている。開口 806 は、テーパ部 807 から導入される光によって近視野光が生成されるように、200 ナノメートル以下の微小な径を有している。

実施の形態 2 に係る近視野光ヘッド 800 では、光導波層 804 に光を入射させる光入射端 805 に集光機能を有した構造をしている。図 8 に示すように、光入射端 805 の形状を凸面の形状にすると、図中には示していないレーザ光源あるいは光ファイバから射出された光は、光入射端 805 から光導波層 804 に入射されるとともに、光入射端 805 のレンズ効果により集光される。集光された光は、ミラー部 808 で開口 806 の方向に反射され、開口 806 の近辺に照射される。開口 806 の近辺のテーパ部 807 には、光導波路 804 の上部から伝わった光を反射し、より多くの光を開口 806 に集光できるように光反射膜 802 が形成される。このように、集光されることにより、局所的な高エネルギーの光が集められ、開口 806 に生ずる近視野光の強度は増大する。

また、光入射端 805 をグレーティング形状にすることもできる。その場合、光入射端 805 に、波長入程度のピッチで溝を形成する。ここで、光導波路 804 に入射する光は、このグレーティングの効果により集光され、ミラー部 808 における反射によって開口 806 の近辺に照射される。

実施の形態 2 における近視野光ヘッド 800 は、図 6 に示した実施の形態 1 における近視野光ヘッドと同様な製造プロセスによって作製することができる。光入射端 805 の凸面形状は、図 6 に示すステップ S105 の工程にて、異方性を有するエッチングにて作製する。たとえば、反応性のイオンエッチングを用い、凸面の形状を作製する。また、集光機能を光入射端 805 に設けているが、光導波路 804 内に形成しても良いことは言うまでもない。また、図 8 において、近視野光ヘッドは、近視野光学顕微鏡でいうイルミネーションモードの形態を示しているが、コレクションモードによる利用も可能である。

以上、本発明の実施の形態 2 における近視野光ヘッドでは、光導波路の一部に光を集光する機能を有しており、開口近辺に多くの光を照射することが可能となり、光強度の大きな近視野光を容易に発生させることができる。

また、実施の形態 1 と同様に、半導体製造プロセスに用いられる技術によって微小な開口

を形成できるため、このような開口を有するシリコン基板は、近視野光を生成できる平面プローブとして活用でき、特に同一シリコン基板上に複数の開口を形成するアレイ化を容易とする。また、シリコンプロセスを経て作製するので、バッチ処理が可能となり、量産に適したものとなる。また、ウェハに対する一括した工程で作製できるため、ばらつきが少なく、製品特性が安定する。また、プローブの小型化が可能となり、ウェハあたりの取り個数が増加するので、コスト低減を図ることができる。

(実施の形態3)

図9は、実施の形態3に係る近視野光ヘッドを構成するシリコン基板の一部の断面図を示している。図9では、2つの角度の異なる斜面によりテーパを形成しているシリコン基板を示す。

この実施の形態3の近視野光ヘッドは、開口近辺での斜面を緩やかにし、すなわち開口近辺におけるテーパを広角化することで、開口近辺での光の効率をより向上させたものである。一般的に伝搬光は、光を伝搬する光導波路の幅が、波長 λ より小さな領域では、伝搬ロスが大きい。そこで、開口近辺でのテーパを広角化することで、幅が波長 λ 以下となる領域を小さくし、開口部に到達する光量を大きくすることができる。その結果、開口から発生する近視野光の強度を大きくすることができる。

図5に示すシリコン基板501のテーパ部507では、シリコンの異方性エッチングを用いて作製しており、単結晶シリコンの(111)面で斜面を形成している。そのため、テーパ部507の斜面とシリコン基板501の底面との成す角度は、約55度である。

一方、図9に示すシリコン基板901のテーパ部では、2つの異なる結晶面で斜面を形成している。上段のテーパ部902の比較的急な勾配の斜面は、シリコン基板の(111)面で形成されており、下段のテーパ部903は比較的緩やかな勾配の斜面、例えば(311)面で形成されている。このように構成されたシリコン基板901の開口904は、斜面とシリコン基板の底面との成す角度が約30度であり、図5に示すシリコン基板501に形成された開口近辺のテーパに比べ、より広角な形状をしている。

図10(A)および図10(B)は、図9に示したシリコン基板901の製造工程の一例を示す説明図である。図10(A)は側面からみた形状を、図10(B)は上面からみた形状を示す。

はじめに、ステップS201では、半導体製造で使われるフォトリソグラフィ技術を用いて、シリコン基板901上にマスク材905を積層した後、パターニングを行う。なお、そのパターニング形状は、2段以上の階段状とする。マスク材905には、酸化シリコン、窒化シリコン、フォトレジスト等を使用する。

続いて、ステップS202では、シリコンの異方性エッチング技術を用いてシリコン基板内にテーパ部を形成する。このエッチング技術として、例えば、水酸化カリウム(KOH)水溶液によってエッチングを行うとすると、シリコンの面方向によってエッチング速度が異なるため、容易にテーパ部を形成することができる。

続いて、ステップS203では、マスク材905をエッチングし、階段上に2段あったマスク材905を1段のマスク906に加工する。なお、この加工は、マスク材905を等方的にエッチングすることにより可能である。その結果、それまでマスク材905に覆われていた(100)面方向をもつシリコン基板の上面の一部がマスク開口窓から新たに出現する。

続いて、ステップS204では、シリコンの異方性エッチングを行い、シリコン基板901内に、2段で形成したテーパ部を形成する。エッチングをKOH水溶液等の面方向によってエッチング速度の異なる方法で行った場合、上段のテーパ部902の斜面は、単結晶シリコンの(111)面で形成され、下段のテーパ部903の斜面は、(311)面等で形成される。そこで、下段のテーパ部903は上段のテーパ部902に比べてより緩やかな斜面となる。

続いて、ステップS205では、マスク材906を除去する。続いて、ステップS206では、シリコン基板901を裏面側からエッチングし、基板の厚みを薄くすることによってシリコン基板内に微小な開口904を形成する。なお、このエッチングは、開口904

10

20

30

40

50

が形成されたところで終了する。その結果、シリコン基板 901 の底面に開口 904 が形成される。開口 904 は、50 nm から 3 μ m 程度のサイズに形成される。エッチングは、ウェットエッチングを用いても、ドライエッチングを用いても良い。

そして、上記のようなステップを踏んで作製したシリコン基板 901 を用いて、さらに、実施の形態 1 において図 6 に示したステップ S103 からステップ S106 までを順次行うことにより、光導波路 504、光反射膜 502、光反射膜 503 および凹面形状のミラー部 508 を設けた近視野光ヘッドを得ることができる。また、同様に、実施の形態 2 に示したように凸面形状の光入射端 805 を設けることもできる。

なお、実施の形態 3 に係る近視野光ヘッドの説明において、図 9 および図 10 は、角度の異なる上下 2 段の斜面により形成されたテーパを例として示したが、斜面の数が 2 段に限らず、3 段あるいは、4 段と複数の斜面により形成されたテーパを有したシリコン基板を用いても良い。

10

以上、本発明の実施の形態 3 における近視野光ヘッドでは、上記のようなシリコンプロセスを経て作製するので、バッチ処理が可能となり、量産に適したものとなる。また、ウェハに対する一括した工程で作製できるため、ばらつきが少なく、製品特性が安定する。また、プローブの小型化が可能となり、ウェハあたりの取り個数が増加するので、コスト低減を図ることができる。

また、実施の形態 1 と同様に、微小な開口を有する構成が可能となり、近視野光を生成できる平面プローブとして活用できる。特に、同一シリコン基板上に複数の開口を有する構成、すなわちアレイ化を容易とし、光メモリヘッドとして使用した場合、高速な光の記録または再生が可能となる。

20

また、実施の形態 3 に係る近視野光ヘッドでは、図 9 に示すような開口 904 近傍のテーパの形状をより広角にしたシリコン基板 901 を用いているため、開口部近辺での光導波路において、波長 λ 以下の領域を小さくすることができ、この領域における光の伝搬ロスを減少させることが可能となる。その結果、開口近辺に集光された光を効率よく近視野光に変換することができる。

(実施の形態 4)

図 11 は、実施の形態 4 に係る近視野光ヘッドを構成するシリコン基板の一部の断面図を示している。この実施の形態 4 の近視野光ヘッドは、実施の形態 3 と同様に、開口近辺のテーパを広角化することで、光を伝搬する光導波層の幅が波長 λ より小さくなる領域での伝搬ロスを小さくし、開口近辺において近視野光を生成させるための光の変換効率をより向上させたものである。

30

図 11 に示すシリコン基板 1101 においては、シリコン基板を貫通した穴が形成され、底面に微小な開口 1103 が形成されている。穴に形成されたテーパ部 1102 は、開口 1103 近辺では、その斜面の角度が緩やかになっている。穴の上部では、シリコン基板 1101 の底面に対して 55 度程度の斜度でテーパ部 1102 を形成しているが、開口近辺では、10 度から 30 度程度の斜度でテーパ部 1103 を形成している。

図 12 は、図 11 に示したシリコン基板 1101 の製造工程の一例を示す説明図である。はじめに、ステップ S301 においては、半導体製造で用いられるフォトリソグラフィ技術を用いて、シリコン基板 1101 上に、マスク材 1104 をパターンニングした後、シリコンの異方性エッチング技術を用いて、シリコン基板 1101 内にテーパ部を形成する。このエッチング技術として、例えば、水酸化カリウム (KOH) 水溶液によってエッチングを行うとすると、シリコンの面方向によってエッチング速度が異なるため、約 55 度の斜度のテーパ部を形成することができる。

40

続いて、ステップ S302 では、シリコンの等方性のエッチングを行う。例えば、XeF₂ によるエッチングを行うことにより、等方的にシリコンがエッチングされる。等方性を有するエッチングを行うことで、テーパ部 1102 の底部の尖った形状が丸みを有する形状に変化していく。その結果、テーパ部 1102 の底部近くでの斜面の角度は、シリコン基板 1101 の底面に対して 10 度から 30 度程度となる。

続いて、ステップ S303 では、マスク材 1104 を除去する。続いて、ステップ S30

50

4では、シリコン基板1101を裏面側からエッチングし、基板の厚みを薄くすることによりシリコン基板1101内に微小な開口1103を形成する。なお、このエッチングは、開口1103が形成されたところで終了する。その結果、シリコン基板1101の底面に開口1103が形成される。開口1103は、50nmから3μm程度のサイズに形成される。また、図13は、図11に示したシリコン基板1101の製造工程の他の例を示す説明図である。

図13において、まず、ステップS401では、図12のステップS301と同様に、半導体製造で用いられるフォトリソグラフィ技術を用いて、シリコン基板1301上に、マスク材1304をパターニングした後、シリコンの異方性エッチング技術を用いて、シリコン基板内にテーパ部を形成する。このときのマスク材1304には、シリコン酸化膜を

10

続いて、ステップS402では、シリコン基板1301の周辺にシリコン酸化膜1305を形成する。シリコン酸化膜1305は、シリコン基板1301を高温の熱酸化炉の中に投入し、シリコン基板1301の表面を酸化させることによって作製する。テーパ部の底部では、酸化膜が形成されにくく、その結果、テーパ部の底部でのシリコン酸化膜1305の厚みは、テーパ部斜面でのシリコン酸化膜1305の厚みに比べて薄くなる。

続いて、ステップS403では、シリコン基板1301の周辺に形成されたシリコン酸化膜1305を除去する。テーパ部の底部でのシリコン酸化膜1305の厚みは、テーパ部斜面でのシリコン酸化膜1305の厚みに比べて薄いため、シリコン酸化膜1305を除去した後の、シリコン基板1301のテーパ部1302の形状は、底部に近づくにつれて斜面の角度が緩やかになり、丸みをおびた形状となる。その結果、テーパ部1302底部の斜面の角度は、シリコン基板1301の底面に対して10度から30度程度となる。

20

続いて、ステップS404では、図12のステップS304と同様に、シリコン基板1301を裏面側からエッチングし、シリコン基板1301内に50nmから3μm程度の微小な開口1303を形成する。実施の形態4に係る近視野光ヘッドの作製工程では、上記のようなステップを踏んで作製したシリコン基板1301、またはシリコン基板1101を用いて、実施の形態1におけるステップS103からステップS106までを順次行う。

以上、本発明の実施の形態4における近視野光ヘッドでは、上記のようなシリコンプロセスを経て作製するので、パッチ処理が可能となり、量産に適したものとなる。また、実施の形態1と同様に、微小な開口を有する構成が可能となり、近視野光を生成できる平面プローブとして活用できる。特に、シリコン基板上に複数の開口を有する構成、すなわちアレイ化が容易となり、光メモリヘッドとして使用した場合、高速な光の記憶または再生が可能となる。

30

また、実施の形態4に係る近視野光ヘッドでは、図11に示すように開口1103でのテーパの形状をより広角にしたシリコン基板1101を用いているため、開口部近辺での光導波層の幅が波長λ以下となる領域を小さく抑えることができ、この領域での光の伝搬ロスを減少させることが可能となる。その結果、開口近辺に集光された光を効率よく近視野光に変換することができる。

なお、実施の形態1～4に係る近視野光ヘッドは、光メモリヘッドとしての近視野光ヘッド以外に、光学顕微鏡用の光プローブとしての使用も可能である。

40

(実施の形態5)

次に、以上に説明した実施の形態1～4に係る近視野光ヘッドのような平面プローブにおいて、その開口部を、目的とする大きさや形状に正確に再現性高く形成する方法について説明する。

通常、平面プローブにおいては、伝搬光を微小開口に効率よく導くために、テーパ部上に、実施の形態1において説明したような光反射膜が形成されるが、この光反射膜は、近視野光ヘッドの開口に導入される伝搬光を反射するために設けられたものであり、開口の大きさや形状は、図6に示したようなエッチング処理を行なうことで形成された穴のエッジ部によって規定されていた。

50

よって、光反射膜の厚みは、シリコン基板の穴のエッジ部に影響を与えない程度に薄く選ばれていたが、「解決しようとする課題」において述べたように、エッチング処理によって微小な開口を形成した場合には、その大きさや形状のばらつきが多く生じ、光反射膜を薄く形成することが正確に制御できたとしても、平面プローブとして意図した強度の近視野光を得ることができなかった。

実施の形態5に係る近視野光ヘッドの製造方法は、シリコン基板にエッチング処理等によって、目的とする大きさよりも大きいか、目的とする形状とは異なった形状の開口を形成し、テーパ部に光反射膜を厚く形成することによって、最終的な微小開口の大きさや形状を規定するものである。

図14は、異方性エッチングや等方性エッチング等の方法によってシリコン基板に形成された開口の断面図である。図14において、シリコン基板1401は、テーパ部1402が形成されることによって微小開口1403を設けている。ただし、この微小開口1403は、上記したように、目的とする大きさよりも大きいか、目的とする形状とは異なった形状である。

そしてこのシリコン基板1401の表面に光反射膜を形成する。この光反射膜の形成は、通常、スパッタリング法、CVD法、真空蒸着法等の方法を用いて行なわれ、近視野光の生成のために使用される伝搬光の波長 λ に対して高い反射率を有するアルミニウム(A1)や金(Au)等の材料を粒子状にして徐々に対象物(この場合、特にテーパ部1402)に堆積させること(以下、成膜と称する)によって達成される。

図14において、矢印Aおよび矢印Bは、成膜の方向、すなわち上記した粒子が飛来してくる方向を表している。通常は、矢印Aで示すようにシリコン基板1401に対して垂直方向から成膜するが、成膜角度を変えて例えば矢印Bの方向から成膜することも可能である。

図15は、成膜後のシリコン基板に形成された開口の断面図である。図15において、光反射膜として金属膜1504が膜厚 t で成膜されている。ここで、膜厚 t とは、シリコン基板1401の上面(テーパ部1402を除く面)に垂直な方向において、シリコン基板1401の上面からの金属膜1504の厚みを示す。金属膜1504が、テーパ部1402上に十分に厚く成膜されることによって、微小開口1403周辺には金属膜1504が微小開口1403の中心に向けて突出量 Δr だけ突出し、元の微小開口(以下、修正前の微小開口と称する)の大きさ d より小さな、大きさ D の微小開口(以下、修正後の微小開口と称する)が形成される。すなわち、生成される近視野光の強度は、修正後の微小開口により規定される。よって、 $D = d - 2\Delta r$ の関係が成り立つ。ここで、突出量 Δr とは、シリコン基板1401の底面に沿った方向において、修正前の微小開口のエッジ部から、金属膜1504の突出部までの長さを示す。

また、図15に示すように、修正後の微小開口の大きさ D は、シリコン基板1401の底面に沿った方向における金属膜1504により規定されるのではなく、シリコン基板1401の底面から Δz だけ上方にずれた位置において規定される。すなわち、この Δz は、修正後の開口と修正前の開口との高さずれを示す。ここで、近視野光の生成条件を満たすには $D < \lambda$ であればよいが、特にレンズによる回折限界以下の開口サイズを必要とするため、 $D < \lambda / 2$ の関係を満たす必要がある。

突出量 Δr は膜厚 t に比例するので、この膜厚 t によって、修正後の微小開口の大きさ D を制御することができる。図16(a)は、成膜方向を図14中の矢印Aとした場合の修正後の微小開口の上面図である。図16(a)に示すように、修正前の微小開口1403から内側に突出量 Δr だけずれて形成された開口部が、近視野光を生成するために有効な大きさおよび形状となる。

図17は、成膜方向AからA1をテーパ部上に成膜した場合の膜厚 t と突出量 Δr の関係を示す図である。特に、図17においては、成膜方法として、真空蒸着法とスパッタリング法を行なった場合のそれぞれのグラフを示している。なお、この場合の成膜条件は、真空蒸着法においては、真空度 3×10^{-6} torr、蒸着レート $700 \text{ \AA} / \text{min}$ とし、蒸着された粒子の大きさ(グレインサイズ)は比較的小さく、テーパ部上に均一に成膜さ

10

20

30

40

50

れる。また、スパッタリング法においては、真空度 3×10^{-3} torr、蒸着レート $200 \text{ \AA/min}$ とし、グレインサイズは比較的小さく、テーパ部の底ほど膜厚は薄くなるため真空蒸着法の場合よりも突出量は小さくなる。

図17から、膜厚 t と突出量 Δr の関係は、 $\Delta r > t/10$ と表すことが可能である。すなわち、上記した成膜条件においては、突出量 Δr は膜厚 t の10分の1以下になることはなく、仮に突出量 Δr が膜厚 t の10分の1以下となる関係となる場合は、開口サイズや開口形状を制御するには非常に厚い膜を成膜しなければならなくなり効率的ではない。よって、上記した成膜条件程度によって成膜することが好ましい。また、真空蒸着法においては、蒸着レートを上記した成膜条件よりも遅くしてグレインサイズを大きくすることにより、 $\Delta r = t/2$ 程度まで突出量 Δr を大きくすることが可能である。

10

図18は、膜厚 t と最大突出部の底面から高さ Δz の関係を示す図である。特に、図18においては、成膜方法として真空蒸着法を行なった場合のグラフを示しており、成膜条件は上記した通りである。図18から $\Delta z \sim t/3$ と表すことが可能である。すなわち、膜厚 t が増大するにつれて、高さ Δz も増大する。

これら図17および図18から、膜厚 t を厚くして突出量 Δr を増やした場合、修正後の微小開口の大きさ D は小さくなるが、高さ Δz も増大し、近視野光を生成するのに有効となる開口位置が底面から離れてしまう。これは、近視野光は開口から離れるほど指数関数的に減衰するという性質から、高さ Δz が増大するにつれて、近視野光強度が小さくなることを意味する。また同時に、近視野光は微小開口から離れるほど広がってしまうため、分解能が低下することを意味する。例えば、微小開口と記録媒体間の距離が微小開口の大きさ程度離れると、分解能は約 $1/2$ になる。この距離が分解能の限界とすると、修正後の微小開口の大きさ D は、 $\Delta z < D = d - 2\Delta r$ と表すことができる。よって、高さ Δz の増大は好ましくなく、小さいほどよい。

20

また、例えば真空蒸着法において成膜方向を傾けることで、修正後の微小開口の形状を制御することができる。図16(b)は、成膜方向を図14中の矢印Bとした場合の修正後の微小開口の上面図である。図16(b)は、特に矢印Bをシリコン基板1401に垂直な方向に対して約20度傾けた方向とした場合を示している。図16(b)に示すように、蒸着方向に対向する面に厚く金属膜が形成され、逆の面には薄く金属膜が形成されている。その突出量の増減量は、図16(a)の場合の突出量 Δr に対して約20%であることが確認された。

30

例として、真空蒸着法による成膜の場合、A1の膜厚 $t = 150$ ナノメートルとすると、 $\Delta z = 40 \sim 50$ ナノメートル、 $\Delta r = 70 \sim 80$ ナノメートルであり、修正前の微小開口の大きさ(径) $d = 250$ ナノメートルが修正後の微小開口の大きさ $D = 100$ ナノメートルとなり、 $\Delta z < D$ の上記式を満たす。スパッタリング法による成膜の場合、高さ Δz も突出量 Δr も真空蒸着法より小さくなるので、 $\Delta z < D$ を当然満たす。

以上においては、テーパ部52上に成膜した場合について説明したが、シリコン基板1401の裏面上に成膜して、微小開口の大きさおよび形状を制御することもできる。図19は、シリコン基板裏面に成膜した後に形成された開口の断面図である。なお、図中において図15と共通する意味の長さには同一符号を付して、その説明を省略する。

図19において、成膜方法として真空蒸着法を行なう場合、膜厚 t と突出量 Δr の関係はテーパ部1402上に成膜した場合とほとんど差はないが、スパッタリング法を行なう場合、膜厚 t と突出量 Δr の関係はテーパ部1402のような障害が存在しないため、膜厚 t に対する突出量 Δr は大きくなる。

40

また、膜厚 t と高さ Δz の関係は、図18に示したグラフと同様か、さらに高さ Δz は小さくなる傾向にある。しかしこの場合、高さ Δz は、大きいほど近視野光の生成に有効な開口が記録媒体に近づくことになるので、上記したテーパ部1402上に成膜する場合とは異なる。よって、図19において、修正後の微小開口の大きさ D は、 $t - \Delta z < D = d - 2\Delta r$ と表すことができ、これにより膜厚 t を厚くすることはできない。また、テーパ部1402上とシリコン基板の裏面上との両方から成膜した場合には、基本的には、近視野光を生成するのに有効な微小開口は最も小さな部分で規定される。その場

50

合、最も小さな開口と平面プローブの底面との距離を小さくすることにより、近視野光の生成を効率よく行なうことができる。

なお、以上に説明した膜厚 t は、光の侵入長（金属膜に対する伝搬光の染み込み）以上であればよく、侵入長以下でも反射率が低くなるだけで特に問題はない。突出量 Δr や突出形状は、成膜方法や成膜条件により異なる。蒸着の場合、方向性がよいので突出量は小さくなる。しかし、テーパ内部の成膜では開口近傍でも十分成膜できる。一方、スパッタリング法では、回り込みが大きいいため突出量が大きい、テーパ部の成膜では開口近辺には成膜しにくい。

また、上記したシリコン基板はSOI（Silicon on insulator）を用いた薄い場合でも、通常のように500ミクロン程度と厚い場合でも良い。テーパ部の形状や作製方法は、異方性エッチングだけでなく、円弧状になる等方性エッチングでも良く、特に限定しない。また、シリコン基板ではなく、ガラス基板を使用し、等方性エッチングなどでテーパ部を形成することもできる。

以上、本発明の実施の形態5における近視野光ヘッドの製造方法では、シリコン基板に目的とする大きさや形状よりも大きな開口を形成し、この開口のテーパ部上および／またはシリコン基板裏面上に成膜する光反射膜の量を制御することにより、近視野光を生成するための微小開口の大きさおよび形状を規定しているので、エッチング処理等によりシリコン基板に開口を微小に形成する際のばらつきの問題を、比較的制御の容易な成膜処理によって解消することができ、歩留まり良く平面プローブを得ることができる。

（実施の形態6）

次に、微小開口の大きさや形状を制御する他の近視野光ヘッドの製造方法について説明する。実施の形態5で示したように、シリコン基板に微小開口を形成した後、熱酸化する。このとき、酸化する度合いに応じて、表面に形成される熱酸化膜の膜厚は制御できるが、酸化される部分には体積変化も生じているため、この体積変化量も制御できる。図20は、熱酸化により体積変化が生じて、微小開口の大きさが変化する様子を示す断面図である。図20に示すように、熱酸化膜2005が形成されることにより、元のテーパ部や微小開口の形状（図中の波線）が、実線で示す形状に変化する。

シリコン基板を酸化すると（通常は熱酸化）、酸化膜厚（通常最大で1.2ミクロン程度）に応じて体積変化が生じる。元の形状を点線で示すが、体積変化で実線の形状になる。約1:1で外側と内側に酸化膜の領域が形成される。熱酸化膜厚は通常最大で1.2ミクロン程度なので、最大で内側に600ナノメートル程度（直径では1.2ミクロン程度）開口を小さくできる。イオン注入後などでは、もっと膜厚は厚くなる可能性がある。

酸化膜の膜厚を制御することで、体積変化つまり突出量を制御できる。ただし、酸化膜は通常の光（可視光など）に対しては、透過性であるから、通常は微小な開口形成には金属膜が必要となる。ただしその金属膜は遮光できればよい、実施の形態5に示したほど厚くなくても良い。金属膜の製膜は上側や下側のどちらでも良く、光の微小開口からの出射効率が変化するだけである。熱酸化だけでなく、イオン注入などによってもシリコンがアモルファス化して体積変化が生じるので、イオン注入も利用できる。他の体積変化が生じる方法なら、熱酸化やイオン注入に限らない。

以上、本発明の実施の形態6における近視野光ヘッドの製造方法では、シリコン基板に目的とする大きさや形状よりも大きな開口を形成し、この開口のテーパ部を含めた表面を熱酸化またはイオン注入することにより、近視野光を生成するための微小開口の大きさおよび形状を規定しているので、エッチング処理等によりシリコン基板に開口を微小に形成する際のばらつきの問題を、比較的制御の容易な熱酸化またはイオン注入処理によって解消することができ、歩留まり良く平面プローブを得ることができる。

（実施の形態7）

図21は、実施の形態7に係わる近視野光ヘッド2100の一部の断面図を示している。本実施の形態による近視野光ヘッド2100は、逆ピラミッド状の穴をもちその頂点が微小開口を形成する平面基板2101と、微小開口への光の伝搬を行う光導波路2103と、その光導波路2103の一部で構成され、微小開口より突起したピラミッド状の突起部

2102と、突起部2102を除く光導波路2103の周囲に形成され、光導波路2103内を伝搬する光を反射する光反射層2104により構成されている。光導波路2103は、光を伝搬するコアとその外周部のクラッドとから構成されていても良い。クラッドの屈折率は、コアの屈折率に比べて相対的に小さい。

図1中には示していないが、レーザ光源あるいは光ファイバより出力された光は、光入射端2105から光導波路2103に入射し、光導波路2103の周りに形成された光反射層2104により反射されながら、光導波路2103の先端部の方向へ伝搬する。光反射層2104の反射効果により、光導波路2103の先端部に多くの光を供給することが可能となる。平面基板2101には、光学的な微小開口が形成されており、光導波路2103の先端部は、この微小開口より突出して、ピラミッド形状をした突起部2102を形成している。この突起部2102の寸法は、高さ200nm以下、底面の一辺の長さ200nm以下であり、光反射層2104は、形成されていない。この突起部2102は、光導波路2103の1部で構成されていることから、多くの光が突起部2102まで伝搬され、その結果、微小開口より突出した突起部2102の周辺に、伝搬光から変換された多くの近視野光を生成することができる。また、平面基板2101より突出したピラミッド形状の光導波路2103の先端部（突起部2102）は、その高さで底面の一辺の比が、 $\sqrt{3} \sim 2:2$ 程度の構成であり、光導波路の幅が光の波長より小さくなる領域が、非常に短い構造をしている。この結果、光導波路の幅が光の波長より小さい領域での光強度の減衰が小さくなり、突起部2102より大きな光強度の近視野光を供給することが可能となる。このように多くの近視野光が局在した突起部2を試料表面に近接させることにより、近視野光を試料表面で散乱させ、光の微小領域の光学的な情報を取り出すことができる（イルミネーションモード）。

あるいは、試料表面に局在する近視野光を光導波路2103の先端部である突起部2102で散乱させ、伝搬光として取り出し、光導入端2105の後方で検出器に導入することによっても、微小領域の光学情報を検出できる（コレクションモード）。この場合も、光導波路2103の先端にある突起部2102での光導波路の幅が光の波長以下となる領域が非常に狭い構造をしていることから、近視野光の多くを伝搬光に散乱することが可能となり、また、光反射層2104により、伝搬ロスを少なく光導入端に導くことができる。また、従来例で述べた平面プローブのように、平面基板内に設けた微小な開口に近視野光を生成させた場合、得られる光像の解像度（分解能）は、その開口サイズと同程度であるが、図21に示す近視野光ヘッド2100では、微小開口より突起した光導波路の一部である突起部2102の周りに近視野光が局在し、その分解能は、この突起部先端の曲率半径に相当するため、微小開口より得られる光像より、高解像度（高分解能）の光像を検出することが可能となる。

また、図21に示した近視野光ヘッド2100において、微小開口より突出した突起部2102の周囲に光反射膜2104は形成されていないが、突起部2102の周りに光反射膜2104を設け、突起部2102の先端に光学的な開口を形成した構成にしても良い。この場合、突起部2102の周りに形成された光反射膜2104の効果により、突起部2102の先端近辺に、より多くの光を供給することができる。

図22は、図21に示した近視野光ヘッド2100の製造工程を示す説明図である。

はじめに、ステップS501では、基板には、面方位（100）の単結晶シリコンのシリコン基板2200を用いる。面方位（110）、（111）の単結晶シリコンや、ガラス、石英などの誘電体結晶、あるいは、GaAs等の半導体結晶を用いてもよい。

次に、ステップS502では、シリコンの異方性を有するエッチング法にてシリコン基板2200内に逆ピラミッド状の凹部2201を形成する。マスク材となる熱酸化膜を基板上に形成し、所望の個所を、フォトリソグラフィとエッチングによりパターンニングし、シリコンを露出させ、水酸化カリウム水溶液、あるいはテトラメチルアンモニウムハイドロオキシド水溶液といった結晶軸異方性エッチングによりパターンニング部のシリコンをエッチングする。このとき、（111）面と等価な4つの面で囲まれた逆ピラミッド状の凹部2201が形成される。また、エッチング溶液に浸すことに代わり、異方性を有するド

10

20

30

40

50

ライエッチング、例えば反応性イオンエッチング（R I E）装置によるエッチングを用いることによって凹部 2 2 0 1 の形成が可能となる。マスク材として、熱酸化膜に代わり、S i O₂ や窒化膜を用いても良い。その後、マスク材である熱酸化膜を弗化水素酸と弗化アンモニウムの混合水溶液で除去する。

次に、ステップ S 5 0 3 では、光反射層 2 2 0 2 を成膜する。光反射率の高い A u、A l 等の金属膜を真空蒸着法にて凹部 2 2 0 1 の底部にまで埋め込むように成膜する。被覆方法として、スパッタリング法やイオンプレーティング法を用いて成膜しても良い。光反射膜 2 2 0 2 を設けることにより、光導波路内を伝搬する光を開口に導くことが可能となり、また、外乱光の遮光膜としても機能する。

次に、ステップ S 5 0 4 では、光導波路 2 2 0 3 となる誘電体を光反射膜 2 2 0 2 の上面に成膜する。光導波路 2 2 0 3 の材料は、酸化シリコンや窒化シリコン等の誘電体材料、あるいは、ポリイミドやポリメタクリル酸といった高分子材料を使用しても良い。誘電体材料である酸化シリコンの場合、スパッタリング法、C V D 法、真空蒸着法によって容易に形成できる。この光導波路 2 2 0 3 を屈折率の異なるコア、クラッドにより形成してもよい。この場合、光はコアを全反射して伝搬していくため、伝搬ロスを減少させることができる。

次に、ステップ S 5 0 5 では、基板を裏面側よりエッチングし、基板内に光反射膜 2 2 0 2 で覆われたピラミッド状の微小な突起部 2 2 0 4 を形成する。シリコン基板 2 2 0 0 の裏面側をエッチングし、基板の厚みを薄くする。光反射膜 2 2 0 2 のピラミッド状の微小な突起部 2 2 0 4 が形成されたところでエッチングを終了する。ピラミッドの一辺のサイズは、5 0 n m から 3 μ m 程度に形成する。シリコン基板 2 2 0 0 のエッチングは、ウェットエッチングを用いても、ドライエッチングを用いても良い。

次に、ステップ S 5 0 6 では、基板の裏面側より光反射膜 2 2 0 2 である金属膜のエッチングを行い、一辺 5 0 ~ 2 0 0 n m 程度の大きさの微小開口を形成すると同時に、光反射膜を除去した光導波路の一部である突起部 2 2 0 5 を形成する。金属膜のエッチングの量をコントロールし、金属膜の開口の大きさを調整する。この結果、光導波路 2 2 0 3 の先端に位置する誘電体材料のピラミッド状の微小な突起部 2 2 0 5 が形成される。A F M 動作時には、この突起部 2 2 0 5 の頂点が探針の役割を果たす。金属膜のエッチングは、ドライエッチングを用いても、ウェットエッチングを用いても良い。

次に、ステップ S 5 0 7 では、フォトリソグラフィ技術とエッチングを用いて、光導波路 2 2 0 3 の形状を作製する。通常の半導体製造工程で用いられるフォトリソグラフィ技術を使用して、光導波路 2 2 0 3 上にエッチングを保護するマスク材を積層し、マスク材をパターニングする。その後、光導波路 2 2 0 3 をエッチングし、マスク材を除去して、光導波路 2 2 0 3 をパターニングできる。光導波路 2 2 0 3 の端面の粗さを小さくするために、マスク材および光導波路材料のエッチングは、反応性イオンエッチングや誘導プラズマエッチングに代表される異方性を有するドライエッチング法を用いる。マスク材には、アモルファスシリコン、ポリシリコン、C r、A l、W S i、N i、A u 等の金属膜、フォトレジストなどを使用する。

次に、ステップ S 5 0 8 では、光導波路 2 2 0 3 の上面に光反射膜 2 2 0 6 を成膜する。光反射率の高い A u、A l 等の金属膜を真空蒸着法にて成膜する。被覆方法として、スパッタリング法やイオンプレーティング法を用いて成膜しても良い。光反射膜 2 2 0 6 を設けることにより、光導波路 2 2 0 3 内を伝搬する光を開口に集光することが可能となり、また、外乱光の遮光膜としても機能する。

以上に示した手順により、図 2 1 に示した近視野光ヘッド 2 1 0 0 を作製できるが、ステップ S 5 0 7 の工程とステップ S 5 0 8 の工程を、ステップ S 5 0 5 の工程とステップ S 5 0 6 の工程の前に行っても、同様に図 2 1 に示した近視野光ヘッド 2 1 0 0 を作製できる。

以上、本発明の実施の形態 7 における近視野光ヘッド 2 1 0 0 では、光を反射する機能を有した構造をしており、また光導波路の先端に位置する光反射膜 2 1 0 4 の開口近辺では、光導波路の幅が光の波長以下となる領域が狭い構造をしており、突起部 2 1 0 2 近辺で

10

20

30

40

50

の光損失が小さくなり、光反射層 2104 で覆われていない突起部 2102 より光強度の大きい近視野光を容易に発生させることができる。また、突起部 2102 の先端部の曲率半径と同等の高分解能の光像測定あるいは表面形状観察が行える。

また、半導体製造プロセスに用いられる技術によって微小な開口および近視野光を発生する突起部容易に形成できるため、同一シリコン基板上に複数の近視野光ヘッドを形成するアレイ化が容易となる。また、シリコンプロセスを経て作製するので、パッチ処理が可能となり、量産に適したものとなる。また、ウェハに対する一括した工程で作製できるため、ばらつきが少ない。さらに、製品特性が安定する。また、プローブの小型化が可能となり、ウェハあたりの取り個数が増加するので、コスト低減ができる。

記録媒体として用いられる材料を、例えば相変化記録方式を適用できる材料とした場合に、その記録は光エネルギーのヒートモードを用いるために、光の高密度化は重要な要素となる。従って、近視野光を利用した光記憶の場合も十分に大きな強度の近視野光の生成が望まれ、本発明による光メモリ用ヘッドにおいては、図 21 中に示した光反射層における開口方面への集光作用によって、あるいは光導波路先端部のピラミッド形状による光導波路幅方向の波長以下領域の縮小によって、その近視野光の強度増強を達成している。また、図 21 中に示した微小な突起部の先端径に相当するビット間隔のデータの読み出し、書き込みが可能であり、光メモリの記憶ビットの高密度化が実現する。上述した説明においては、光メモリ用ヘッドの突起部に集光して近視野光を生成させる、いわゆる近視野光学顕微鏡と言うイルミネーションモードであるが、他の光学系によって記録媒体面に光を照射し、記録媒体面上の微小な情報記録構造によって生ずる近視野光を微小な突起部によって検出する、いわゆるコレクションモードに対しても本発明による近視野光ヘッドは有効となる。その場合、突起部で検出された近視野光は散乱光に変換されて、光導波路を伝搬し、光入射端に到達する。そこで、光入射端近辺に光検出器を配置する。

また、実施の形態 7 に係わる光メモリ用ヘッドとして使用する近視野光ヘッドは、一般的な半導体プロセスにて形成されているため、同一シリコン基板上に 2 次元的に複数個配列させることが容易となる。

図 23 に、前記光メモリヘッドを同一シリコン基板上に 2 次元にアレイ状に配置した近視野光ヘッドアレイ 2300 の構成を示す。1つの光源 2302 より照射された光が、4つの近視野光ヘッド 2301 の突起上面に導かれるように光導波路 2303 が形成される。光源 2302 によって照射された光は、シリコン基板 2304 の端面に存在する光導波路 2303 の入射端に照射され、光導波路 2303 内に入射される。入射した光は、光導波路 2303 内を通り、図 21 と同様に、テーパ部内部に設けた光反射膜により反射されながら、効率良く各々の光メモリヘッド 2301 の突起部近辺に導かれる。導かれた光によって、各々の突起部からは近視野光が生成される。図 23 に示した近視野光ヘッドアレイ 2300 においては、1つの光源に対して、1つのシリコン基板 2304 上に 4つの近視野光ヘッド 2301 を記しているが、これに限らず、様々な組み合わせが可能である。

上記のように、実施の形態 7 に係わる光メモリ用ヘッドとして使用する近視野光ヘッドは、同一シリコン基板上に 2 次元的に複数個配列する構成が可能のため、記憶媒体上におけるヘッドの掃引を最小限に抑え、高速な光記憶及び読み出しが可能となり、更には、前記配列間隔を記録媒体上の情報記録単位間隔に適合させることによってトラッキングレスが実現できる。

(実施の形態 8)

図 24 は、実施の形態 8 に係わる近視野光ヘッド 2400 の一部の断面図を示している。図 24 において、実施の形態 8 に係わる近視野光ヘッド 2400 は、実施の形態 7 に係わる近視野光ヘッド 2100 と同様に、微小開口を有する平面基板 2401 と、その微小開口より突起し、近視野光の検出および照射を行うピラミッド状の突起部 2402 と、突起部への光の伝搬を行う光導波路 2405 と、光導波路の周囲に形成され、光導波路内を伝搬する光を反射する光反射層 2404 により構成されている。

実施の形態 8 に係わる近視野光ヘッド 2400 では、図 24 に示すように、平面基板 2401 に形成された穴が、角度の異なる 2 段の斜面により形成されており、穴の入り口に近

10

20

30

40

50

い斜面がより広がった形状をしている。そのため、斜面上に形成された光導波路 2403 は、2箇所湾曲された形状となる。この場合、光導波路 2403 の湾曲部 1箇所での伝搬光の屈折角は、小さくなり、そこでの光伝搬ロスが低減される。結果、光導波路 2403 に形成された 2カ所の湾曲部において、総じて光の伝搬ロスは低減し、より多くの光を試料に照射することが可能となる。

なお、図 24 では、角度の異なる 2 段の斜面により構成された穴をもつ平面基板を示したが、2 段に関わらず、3 段、4 段、あるいは多段な斜面により構成された穴をもつ平面基板を用いても、もちろんよい。

実施の形態 8 における近視野光ヘッドは、図 22 に示した実施の形態 7 における近視野光ヘッドの作製方法と同様な製造プロセスにて作製できる。ステップ S501 に示した基板内に逆ピラミッド状の凹部をもつ構成のシリコン基板 2200 を用いて、ステップ S512 にて、再度、マスク材となる熱酸化膜を基板上に形成し、所望の個所を、フォトリソグラフィとエッチングによりパターンニングし、シリコンを露出させ、パターンニング部のシリコンをエッチングする。この場合、S111 にてエッチングした箇所を含むより広い範囲のシリコンを露出させ、エッチングする。この結果、シリコン基板の (100) 面と (111) 面との接線より面方位の異なる面が発生し、ステップ S512 に示した角度の異なる 2 段の斜面をもつ凹部 2207 をもつシリコン基板が作製できる。

この後、図 22 に示した実施の形態 7 における近視野光ヘッドと同様にステップ S503 からステップ S508 の工程を行うことにより、図 24 に示した実施の形態 8 における近視野光ヘッド 2400 を作製する。

以上、本発明の実施の形態 8 における近視野光ヘッドでは、光導波路の湾曲を多段にし、一カ所の湾曲部での伝搬光の屈折角が小さくなることにより、総じて湾曲部での光の伝搬損出を低減することができ、近視野光を発生する突起部近辺に多くの光を照射することが可能となり、光強度の大きい近視野光を容易に発生させることができる。また、突起部の先端径に等しい高分解能の光像が得られる。

また、実施の形態 7 と同様に、半導体製造プロセスに用いられる技術によって微小開口および突起部を形成できるため、このような突起部を有するシリコン基板は、近視野光を生成できる平面プローブとして活用でき、コンパクトな構成をしており、特に同一シリコン基板上に複数の突起部を形成するアレイ化が容易となる。また、シリコンプロセスを経て作製するので、パッチ処理が可能となり、量産に適したものとなる。また、ウェハに対する一括した工程で作製できるため、ばらつきが少ない。さらに、製品特性が安定する。また、プローブの小型化が可能となり、ウェハあたりの取り個数が増加するので、コスト低減ができる。

以上、実施の形態 7 と実施の形態 8 に係わる近視野光ヘッドは記録再生装置としての近視野光ヘッド以外に、光学顕微鏡用の近視野光ヘッドとしての使用も可能である。また、突起部の先端部を用いて、トンネル電流や原子間力といった相互作用を利用した表面形状の観察や微細構造の加工を行ったり、先端部に磁性膜を着け、試料表面の磁場観察を行うこともできる。

(実施の形態 9)

以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。図 25 は、本発明の実施の形態 9 による近視野光ヘッド 2500 の構成を示す側断面図である。図 25 に示す近視野光ヘッド 2500 において、光導波路 2501 は、クラッド 2502、コア 2503 およびクラッド 2504 から構成されており、レーザ光源 (図示略) から射出されたレーザ光 La を低損失で伝搬させる。

また、光導波路 2501 は、石英系材料、高分子等の誘電体材料からなり、クラッド 2502、コア 2503 およびクラッド 2504 から構成されている。ここで、光導波路 2501 は、コア 2503 の屈折率がクラッド 2502 およびクラッド 2504 の屈折率より大きくなるように構成されている。上記クラッド 2502 は、CVD (Chemical Vapor Deposition)、スパッタ、蒸着等の手法により、二酸化珪素膜の堆積によって形成され、その一端部には、表面から裏面に向けて徐々にテーパ状に縮径

される逆錐形状のテーパ穴2502aが形成されている。このテーパ穴2502aの頂点は、その径が数十ナノメートルの微小開口2502bとされている。すなわち、クラッド2502の裏面には、微小開口2502bが形成されている。この微小開口2502bの近傍には、近視野光Pが生成される。

コア2503は、クラッド2502の表面およびテーパ穴2502aに沿って、二酸化珪素膜の堆積によって形成され、直線状のコア直線部2503aと、テーパ穴2502aを塞ぐコア先端部2503bとが一体に形成されて構成される。クラッド2504もまた、コア2503の表面における二酸化珪素膜の堆積によって形成される。

また、光導波路2501の一端部2501aは、コア2503のコア直線部2503aに対して所定角度を持つような斜めの一端面T1を有している。この一端面T1には、アルミニウム(Al)、クロム(Cr)、金(Au)等の金属膜や、誘電体多層膜からなる反射膜2505が形成されている。この反射膜2505は、コア2503のコア直線部2503aを同図左方向へ向けて伝搬するレーザ光Laを、その反射面2505aにより微小開口2502b方向へ反射させる役目を果たしている。

10

基板2506は、シリコン、ガラス等が板状に形成されてなり、クラッド2504(光導波路2501)の表面に接着剤等により接合されている。なお、基板2506とクラッド2504(光導波路2501)とは、陽極接合により接合してもよい。ここで、上記陽極接合とは、基板2506とクラッド2504との間に高電圧を印加することにより境界面において生じるイオン結合による接合をいう。

上記構成において、近視野光ヘッド2500を光メモリの記録再生に適用する場合には、近視野光ヘッド2500の下方に図示しない記録媒体が配設される。上記記録媒体は、例えば円盤状の平面基板であり、相変化記録方式、光磁気記録方式、フォトクロミック記録方式などの光記録／再生を適用できる材料からなり、局所的な光の照射による情報記録を可能とする。また、記録・再生中において、記録媒体は、図示しない駆動機構により高速回転される。

20

さらに、この場合には、微小開口2502b近傍に生成される近視野光Pを記録媒体に作用させるために、微小開口2502bと記録媒体の記録面との間を微小開口2502bの径程度まで近接させる必要がある。そこで、この例では、近視野光ヘッド2500と記録媒体との間に潤滑剤を充填し、この潤滑剤の表面張力を利用して近視野光ヘッド2500と記録媒体の記録面との距離を十分に小さく維持する。また、上記潤滑剤は、高速回転中に生じる記録媒体の回転軸方向の撓みに近視野光ヘッド2500の位置を追従させる役目をしている。また、微小開口2502bと記録媒体の記録面との間を微小開口2502bの径程度まで近接させる手段として、従来のハードディスクに用いられているフライングヘッド方式を採用することも可能である。

30

このような状態において、図示しない近視野光ヘッド制御機構によって、近視野光ヘッド2500の微小開口2502bが、記録媒体の記録面における所望の位置に配置されるように、近視野光ヘッド2500の位置が制御される。続いて、図示しないレーザ光源から射出されたレーザ光Laが光導波路2501のコア2503の入射端面に入射されると、該レーザ光Laは、コア直線部2503aを同図左方向に伝搬した後、反射膜2505の反射面2505aにより微小開口2502b方向へ反射される。これにより、微小開口2502bの近傍、言い換えれば、微小開口2502bと記録媒体の記録面との間の微小空間に近視野光Pが生成される。

40

そして、上記近視野光Pと記録媒体の記録面との相互作用によって生じた伝搬光が、記録面の記録状態に依存した強度や位相等の特性を伴って図示しない受光素子へと導かれて電気信号に変換され、図示しない信号線を介して同じく図示しない信号処理部によって情報記録部の記録状態が判断される。

記録媒体への情報の記録は、上述のように微小開口2502bから近視野光Pを照射する必要があるが、記録媒体に記録された情報の読み出しに関しては、微小開口2502bで近視野光を検出する構成や、同一の微小開口2502bを用いて近視野光の照射と信号光の検出を行う構成も可能である。

50

次に、図26(a)～図26(f)を参照して、上述した実施の形態1による近視野光ヘッド2500の製造方法について説明する。まず、図26(a)においては、上述したCVD、スパッタ、蒸着等の手法により、シリコン基板10の表面に二酸化珪素の薄膜が、200nm～50μmの厚さとなるように、クラッド2502が堆積形成される。次に、フォトリソグラフィの手法を用いて、クラッド2502にテーパ穴2502aが形成される。

具体的には、クラッド2502の表面に塗布されたレジスト部分に、直径が100nm～1μmのピンホールを形成した後、等方性のドライエッチング手法によりエンチングを施す。これにより、レジスト部分とピンホール近傍のクラッド2502が同時に横方向、縦方向共に同じエッチング速度でエッチングされ、結果的に同図に示すようなテーパ形状のテーパ穴2502aがクラッド2502に形成される。ここで、テーパ穴2502aのテーパ角は、クラッド2502とレジスト剤とのエッチング選択比を調整することにより、変化させることができる。また、異方性のドライエッチングを用い、クラッド2502とレジストとのエッチング選択比を調整することにより、所望の形状のテーパ穴2502aを形成することも可能である。

次に、図26(b)において、クラッド2502の形成手法と同様の手法により、クラッド2502の表面に沿い、かつテーパ穴2502aを塞ぐようにして、二酸化珪素の薄膜が、2μm～10μmの厚さとなるように堆積形成されることにより、コア2503が形成される。次いで、同様の手法により、コア2503の表面には二酸化珪素の薄膜が200nm～50μmの厚さとなるように堆積形成されることにより、クラッド2504が形成される。これにより、クラッド2502、コア2503およびクラッド2504からなる光導波路2500がシリコン基板2510の表面に形成される。

ここで、コア2503の屈折率をクラッド2502、2504の屈折率より大きくする手法としては、2つの手法がある。クラッド2502、2504の屈折率を小さくする場合には、クラッド成膜時にフッ素(F)をドーピングすればよく、一方、コア2503の屈折率を大きくする場合には、コア成膜時にゲルマニウム(Ge)をドーピングすればよい。また、成膜方法にもよるが、例えば、CVDやスパッタにより二酸化珪素膜を堆積形成する場合、成膜時のガス圧や印加電力の調整により、上記屈折率を調整することも可能である。

次に、図26(c)において、フォトリソグラフィの手法により、一端面T1を形成するためのレジストパターンを光導波路2501に形成した後、光導波路2501全体をテーパエッチングする。このテーパエッチングの手法としては、次の(1)項～(3)項に挙げる手法が適宜選択される。

(1) レジストパターンをマスクとし、レジストと光導波路2501の構成材料である二酸化珪素のエッチングレートとを適に選定した状態で異方性または等方性エッチングを施すことにより、レジスト材と二酸化珪素のエッチング速度差に応じた角度で、光導波路2501の一端部2501aが同図に示す形状となるような一端面T1が形成される。

(2) 光導波路2501の表面にレジストパターンを形成した後、等方性のドライエッチングを施すことにより、アンダーカットによって一端部2501aが同図に示す形状となるような一端面T1が形成される。

(3) 光導波路2501の表面に一端面T1に対応するようなテーパ状のレジストパターンを形成した後、光導波路2501の構成材料である二酸化珪素とレジストのエッチングレートを適に選定した状態で異方性エッチングを施すという、転写方式のエッチングにより、一端部2501aが同図に示す形状となるような一端面T1が形成される。

次に、図26(d)において、光導波路2501(シリコン基板2510)の表面全体には、CVD、スパッタ等の手法により、上述したアルミニウム(Al)、クロム(Cr)等の金属膜、誘電体多層膜等が形成される。次いで、フォトリソグラフィ、エッチングにより、同図に示す反射膜2505以外の膜を除去する。なお、反射膜2505は、後述する図26(e)または図26(f)に示す工程において、同図左方向から堆積形成してもよい。

10

20

30

40

50

次に、図 26 (e) において、光導波路 2501 (クラッド 2504) の表面には、上述した陽極接合または接着剤により基板 2506 が接合される。そして、最終工程として、図 26 (f) において、水酸化カリウム (KOH)、テトラメチルアンモニウムハイドロオキシド (TMAH) を用いて、図 26 (e) に示すシリコン基板 2510 にウェットエッチングを施すことにより、シリコン基板 2510 を除去する。また、シリコン基板 2510 は、高速度のドライエッチングにより除去することも可能である。これにより、近視野光ヘッド 2500 が製造される。

以上説明したように、上述した実施の形態 9 による近視野光ヘッドによれば、従来の光ファイバに代えて、光導波路を用いているので、小型・軽量化を図ることができるため、高速応答が必要とされるフィードバック系の応答速度に容易に追従させることが可能となり、ひいては、高密度の記録再生を行うことができる。

10

また、上述した実施の形態 9 による近視野光ヘッドによれば、光導波路を介して、レーザ光源からのレーザ光を微小開口の直近まで導く構成としたので、従来のものと比較して光伝搬損失を飛躍的に減少させることができる。

さらに、上述した実施の形態 9 による近視野光ヘッドによれば、等方性または異方性のドライエッチングによりテーパ穴を形成しているので、テーパ穴のテーパ角を容易に調整することができ、ひいてはこのテーパ角の調整により光伝送効率を最適値にすることができるので、結果的に光伝搬損失を減少させることができる。

また、上述した実施の形態 9 による近視野光ヘッドの製造方法によれば、図 26 (a) ~ 図 26 (f) を参照して説明した手法、つまり、シリコン基板の表面に上方向に順次クラッド、コアおよびクラッドを形成した後、基板を光導波路に接合するという手法を用いたことにより、従来、製造が困難とされていた光導波路コアの突起状の形状を容易に形成することができる。

20

(実施の形態 10)

図 27 は、本発明の実施の形態 10 による近視野光ヘッド 2700 の構成を示す側断面図である。図 27 において、図 25 の各部に対応する部分には同一の符号を付け、その説明を省略する。図 27 においては、反射膜 2721 が新たに形成されている。この反射膜 2721 は、クラッド 2502 の裏面 2502c に形成されており、この反射膜 2721 において、微小開口 2502b に対応する部分には、微小径穴 2721a が形成されている。この反射膜 2721 は、微小開口 2502b 周囲の漏れ光を防止し、また、コア 2503 内を伝搬する光がクラッド 2502 に漏洩光として漏洩したときに、この漏洩光が光ディスクの記録面に照射されることを防ぐ役目をする一方、近視野光 P の散乱により得られる伝搬光を、図示しない受光素子側へ反射させる役目をしている。

30

また、反射膜 2721 は、クラッド 2502 の裏面 2502c に、前述した CVD、スパッタ、蒸着等の手法により、アルミニウム (Al)、クロム (Cr)、金 (Au) 等の金属膜や、誘電体多層膜が 100nm ~ 1μm の厚さとなるように形成されたものである。さらに、反射膜 2721 の微小径穴 2721a は、上述したリソグラフィ、エッチングの手法により形成される。

この実施の形態 10 による近視野光ヘッドによれば、反射膜を形成したことにより、コアの漏洩光が光導波路の外部に漏洩することがないため、記録媒体の記録面における光照射範囲を効果的に狭めることができる。さらに、この実施の形態 10 による近視野光ヘッドによれば、反射膜を形成したことにより、近視野光 P を散乱させて得られる伝搬光が受光素子に効果的に導かれるため、検出感度を向上させることができる。

40

(実施の形態 11)

図 28 は、本発明の実施の形態 11 による近視野光ヘッド 2800 の構成を示す側断面図である。この図において、図 25 の各部に対応する部分には同一の符号を付ける。この図においては、光導波路 2501 の一端部 2501a の一端面 T2 が曲面とされており、この一端面 T2 には、反射膜 2505 (図 25 参照) と同様の材料および手法による反射膜 2831 が形成されている。つまり、反射膜 2831 の反射面 2831a は、一端面 T2 が曲面であるため、凹面鏡としての役目をしている。すなわち、コア 2503 のコア直線

50

部 2 5 0 3 a を伝搬してきたレーザ光 L a は、反射面 2 8 3 1 a により集光されて微小開口 2 5 0 2 b 方向へ反射されるのである。

この実施の形態 1 1 による近視野光ヘッドによれば、反射膜を曲面としたので、レーザ光を集光することができ、ひいては、近視野光の光強度を高めることができる。

(実施の形態 1 2)

図 2 9 は、本発明の実施の形態 1 2 による近視野光ヘッド 2 9 0 0 の構成を示す側断面図である。図 2 9 において、図 2 5 の各部に対応する部分には同一の符号を付け、その説明を省略する。図 2 9 においては、図 2 5 に示すクラッド 2 5 0 4 が形成されていない構成とされている。すなわち、コア 2 5 0 3 の表面には、コア 2 5 0 3 の屈折率より小さい屈折率を有する基板 2 5 0 6 が、前述した陽極接合等により結合されており、基板 2 5 0 6 は、クラッド 2 5 0 4 の役目を担っている。従って、図 2 9 においては、クラッド 2 5 0 2、コア 2 5 0 3 および基板 2 5 0 6 により光導波路 2 9 0 1 が構成されている。

従って、この実施の形態 1 2 による近視野光ヘッドによれば、実施の形態 9 に記載の近視野光ヘッドと比較して、クラッドが無い分、さらに小型・軽量化を図ることができるため、さらに高密度な記録・再生を行うことができる。

以上本発明の実施の形態 9 から 1 2 について詳述してきたが、具体的な構成はこれらの実施の形態 9 から 1 2 に限られるものではなく本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等があっても本発明に含まれる。例えば、上述した実施の形態 9 から 1 2 においては、複数の構成例について説明したが、各構成例を個別的に実施することはもちろんのこと、これらの複数の構成例を適宜組み合わせた構成も本発明に含まれる。

また、実施の形態 9 から 1 2 において、光導波路に導入される光は、レーザ光のように特にコヒーレントな光である必要はなく、インコヒーレントな光である L E D 等から射出される光を用いてもよい。

(実施の形態 1 3)

図 3 0 は、実施の形態 1 3 に係る近視野光ヘッドの構成を示す一部の断面図である。図 1 3 に示す近視野光ヘッド 3 0 0 0 において、レーザ光源から射出されたレーザ光を近視野光ヘッド 3 0 0 0 内に導入させる光導入部において、メディア面に水平な方向に低損失で伝搬させる光導波路 3 0 0 2 と、光導波路 3 0 0 2 を低損失で伝搬した光を反射させ伝搬方向を開口方向に向ける光反射層 3 0 0 1 とを有する第 1 の基板 3 0 0 3 と、開口方向に向かうレーザ光をレンズ効果により集光させ、集光した微小なビームスポットを開口に合わせるように設計されたレンズ 3 0 0 4 を有する第 2 の基板 3 0 0 5 と、メディアに対向するスライダ面 3 0 0 6 に向け除々にテーパ状に縮径され、上面に光を反射することで開口への光の照射を多くする光反射膜 3 0 1 0 が成膜された逆錐形状の穴 3 0 0 7 が形成され、その頂点に伝搬光を照射することにより近視野光を生成する微小開口 3 0 0 8 が設けられている第 3 の基板 3 0 0 9 とから構成されている。

第 1 の基板 3 0 0 3 において、光導波路 3 0 0 2 は、石英系材料、高分子等の誘電体材料からなり、図 3 0 に示すようクラッド 3 0 1 1、コア 3 0 1 2 およびクラッド 3 0 1 3 から構成されていても良い。ここで、光導波路 3 0 0 2 は、コア 3 0 1 2 の屈折率がクラッド 3 0 1 1 およびクラッド 3 0 1 3 の屈折率より大きくなるように構成されている。上記コア 3 0 1 2 およびクラッド 3 0 1 1、3 0 1 3 は、C V D (C h e m i c a l V a p o r D e p o s i t i o n)、スパッタ、蒸着等の手法により、二酸化珪素膜の堆積によって形成されることにより第 1 の基板 3 0 0 3 の小型化が可能となる。この光導波路 3 0 0 2 からの出射光は、所定の角度を持つ斜面上に形成された光反射層 3 0 0 1 に照射され、この光反射層 3 0 0 1 により光の伝搬方向が変化する。第 1 の基板 3 0 0 3 として S i l i c o n の (1 0 0) 基板を用いた場合、異方性エッチングにより形成される (1 1 1) により 5 4 . 7 ° の斜度をもつ斜面が形成され、その上面にアルミニウム、クロム、金等の金属膜や誘電体多層膜からなる光反射層 3 0 0 1 が形成される。この光反射層 3 0 0 1 によりメディア面に対し平行な方向から照射された半導体レーザからの光を、スライダの平面内に形成された微小開口に上方より照射することが可能となり、光伝搬効率の良い近視野光ヘッド 3 0 0 0 が可能となる。また別の第 1 の基板 3 1 0 3 として、図 3 1 に

示すように、光導波路 3102 のパターンを斜面上さらに上段まで形成した場合でも、メディア面水平方向を伝搬してきた光は、斜面上に形成された光反射層 3101 により微小開口方向へ伝搬していく。あるいは別の第 1 の基板 3203 として、平坦な基板上に石英系材料を積層し、その石英系材料にマスク形状を転写するような形でエッチングすることにより、一定のテーパ角をもつ斜面を形成し、その上面に金属膜等を積層させ、光反射層 3201 を形成しても良い（図 32）。あるいは、また別の第 1 の基板 3303 として、平坦な基板上に蒸着、スパッタあるいはめっき法を用いてアルミや金、あるいは銀、銅、チタン、クロム等の金属膜を積層させ、マスク下のアンダーカットが大きいウェットエッチングあるいはマスク形状の転写が可能なドライエッチングにより、テーパ角をもつ光反射層 3301 を形成しても良い（図 33）。また、図 34 に示すような光反射層 3401 10
近辺に光ファイバ 3402 を V 字型の溝に挿入した基板を第 1 の基板 3403 として使用しても良い。この場合、レーザ光源から射出された光は、ファイバ 3402 内部に形成された屈折率の大きい部分であるコアに入射され、コア内部を伝搬した光は、基板内に挿入された光ファイバの端面 3404 より光反射層 3401 に照射される。先ほどのように第 1 の基板として Silicon の (100) 基板を用いた場合、エッチングレートの遅い (111) 面を利用することにより 54.7° の斜度をもつ 3 つの斜面で構成された所望の深さの溝が形成され、円形の光ファイバ 3402 をその溝内に配置するより高精度なアライメントおよび位置合わせが可能となる。こういった第 1 の基板 (3003、3103、3203、3303、3403) において、光反射層の反射面が凹曲面形状をしていることによる集光機能を有していても良い。また、メディア面と平行な方向に伝搬する光導波路の入射端面あるいは出射端面が凸曲面の形状を有していたり、光導波路の一部にグレーティング機能を有していても良い。これら集光機能により光のスポットが微小開口に合うよう設計され、この効果により微小開口に多くの光を照射でき、情報の高速再生あるいは記録が実現する。 20

第 2 の基板 3005 では、一部に屈折率が異なる屈折率分布をもつ基板を使用する。この基板は、基板の一方の面から他方の面に向かって屈折率が連続的に変化しているため、一方の面に入射した光を他方の面に集光あるいはコリメートすることが可能なレンズ機能を有する。このような基板は、後述する選択イオン交換法により作製する。また、レンズ形状によるレンズ効果をもつ基板を使用しても良い。レンズ形状は、選択イオン交換において半径の大きなイオンを選択することにより、交換されるイオン半径の違いにより円形の膨らみをもつ現象を利用して作製する。また、レンズ形状の別の作製方法として、ドライエッチングのマスクとなるレジストの形状をグレースケールマスクあるいはイメージンマスクを用いたフォトリソグラフィ技術にてレンズ形状に作製し、基板材料となる誘電体とレジストとの選択比を一定としたエッチング条件にて、基板とレジストを同時にエッチングすることにより所望のレンズ形状を作製できる。このように適切な光学設計されたレンズ機能を有した第 2 の基板 3005 を、第 1 の基板 3003 と第 3 の基板 3009 の中間位置に配置することにより、第 3 の基板 3009 に作製される微小開口 3008 に多くの光を供給することが可能となる。また第 2 の基板 3005 として一部にグレーティング機能を有する基板、あるいはフレネルゾーンプレートやホログラフィックレンズを使用しても良い。このような第 2 の基板 3005 の材料としては、誘電体とくに石英やガラスといった SiO₂ 系の材料が用いられる。 30

第 3 の基板 3009 にはシリコン基板を使用する。シリコン基板にはテーパを有する穴 3007 がこれを貫通するように形成され、メディア側の面内に微小開口 3008 を有している。穴径はスライダ方向に向かって縮小し、穴の上方より照射された伝搬光は、テーパ内部を反射しながら開口方向に伝搬し、メディア側面内に形成され 200 ナノメートル以下の微小な径を有する微小開口 3008 で近視野光に変換される。テーパ部は、異方性を有するシリコンのエッチング技術によりシリコン基板を加工することにより形成される。このテーパ部の上面には、上部より伝搬してきた光を反射し、より多くの光を微小開口に集光できるように光反射膜 3010 が形成される。貫通した穴を埋めるように上面に積層された光反射膜 3010 の穴のサイズが微小開口 3008 の大きさとなる。第 3 の基板 3 40

10

20

30

40

50

009において、テーパ部が曲面であったり、あるいは斜度の異なる多段の斜面で構成されていても良い。また穴の内側の一部に屈折率 $n = 1$ 以上の材料が存在し、屈折率分布を持っていたり、曲面形状を持っていたりしても良い。

実施の形態13に係る近視野光ヘッド3000は、上記第1から第3の基板を一体に接合することにより形成される。接合に際し、第1の基板3003に形成した光反射層3001で反射されたレーザ光を第2の基板3005内に存在するレンズ機能により集光し、その収束光を第3に基板3009に設けた微小開口3008に照射することにより大きな近視野光の生成が可能となるようそれぞれの基板の位置合わせを行う。また、所望の大きさの近視野光を得るために、特に第2の基板3005に設けたレンズ3004の大きさやNAの光学設計を行う。基板間の接合は、基板間に接着剤を塗布し、硬化させることにより行ったり、基板材料としてシリコンやガラスを使用していることから、陽極接合方法による基板間の直接的結合を行う。ここで、陽極接合とは、シリコンとガラスもしくはガラスとガラスの間に高電界を生じさせることにより境界面において生じるイオン結合による接合をいう。

次に、図35は、図30に示した実施の形態13における近視野光ヘッド3000の製造工程を示す説明図である。

はじめに、第1の基板3003の作製方法を説明する。まずステップS1101では、基板には、面方位(100)の単結晶シリコン基板3501を使用する。この基板上にマスクとなる熱酸化膜3502あるいは酸化珪素膜をCVD法あるいはスパッタ法により積層させる。マスク材としては、この他に窒化珪素あるいは非アルカリ溶解系金属を用いても良い。次にステップS1102では、リソグラフィの手法を用いてこのマスク材に所望の大きさの窓を開け、エッチングを行う所のSiを露出させる。この後ステップS1103では、水酸化カリウム(KOH)、あるいはテトラメチルアンモニウムハイドロオキシド(TMAH)を用いて、シリコン基板3501にウェットエッチングを施すことにより段差を設け、(100)に対し 54.7° の角度を有する(111)である斜面3503を形成した。続けてステップS1104では、この斜面3503の上面には横方向から伝搬してきた光を開口方向に供給できるようにアルミニウム、銀、金等の金属膜や誘電体多層膜からなる光反射層3504を積層形成する。さらにステップS1105で、この後段差の底部に光を伝搬させる材料となる酸化シリコンや窒化シリコン等の石英系材料、ポリイミドやポリメタクリル酸といった高分子等の誘電体材料を堆積させ、光導波路となる材料を作製する。誘電体材料である酸化シリコンの場合、スパッタリング法、CVD法、真空蒸着法によって容易に形成できる。この光導波路を屈折率の異なるコア3506、クラッド3505、3507により形成してもよい。コアの屈折率をクラッドの屈折率より大きくするには、コア成膜時にゲルマニウムをドーピングすればよく、またクラッドの屈折率をコアの屈折率より小さくするには、クラッド成膜時にフッ素をドーピングすればよい。このような場合、光はコアを全反射して伝搬していくため、伝搬ロスを減少させることができる。続けてステップS1106でフォトリソグラフィ技術とエッチングを用いて、光導波路3508の形状を調整する。通常の半導体製造工程で用いられるフォトリソグラフィ技術を使用して、光導波路上にエッチングを保護するマスク材を積層してパターンニングを行なう。その後、光導波路材料をエッチングし、マスク材を除去することにより、光導波路3508をパターンニングできる。このようにして第1の基板3003を作製するが、段差の底部に光導波路を形成せず、光ファイバを挿入してもよい(図34)。この場合、ステップS1101からステップS1104と同様の工程を用いて基板を作製し、(100)と 54.7° の角度をもつ2つの(111)で形成されたV字型の溝にこのファイバを挿入する。V溝斜面の角度が一定であるため、エッチングのマスク形状を形成するときに任意のサイズを設定することにより所望の大きさのV溝が形成でき、その結果、V溝上に配置される円形をした光ファイバの位置は決定される。この結果、光反射層に照射する光の位置精度向上が図れる。ファイバの固定は、ファイバを適切な位置に合わせた後、接着剤による接合あるいは陽極接合を用いることにより行う。

また、図32と図33に示した第1の基板では、それぞれ基板上に積層した金属または酸

10

20

30

40

50

化珪素や窒化珪素といった誘電体材料をテーパ状にエッチングすることにより形成される斜面で光の反射を行う。

次に、第2の基板3005の作製方法を図36で説明する。まず、ステップS1201では、ガラス基板3601上にマスク材となる金属膜3602を積層させる。真空蒸着あるいはスパッタリングにて形成する。

次に、ステップS1202では、フォトリソグラフィ技術を用い、金属膜3602に円形状の穴をあけ、レンズ機能を形成する所のガラス基板3601を露出させる。

次に、ステップS1203では、ガラス基板を溶解塩に浸すことにより、選択イオン交換を行う。ガラス基板内に拡散されるイオンは、マスクの開口部より同心円状に侵入し、3次元的な濃度分布をもつようになる。この結果、この分布に比例した屈折率勾配をもつ基板となる。

10

最後に、ステップS1204では、マスク材を剥離し、マイクロレンズ基板が形成される。

また、続けてドライエッチングを用いて作製するレンズ形状をもつ基板の作製工程を図37説明する。

まず、ステップS1211では、ガラス基板3701上にレジスト3702を塗布する。

次に、ステップS1212では、階調を有するグレイスケールマスクあるいはイマージョンマスクを用いたリソグラフィによりレンズ形状をしたレジストを露光と現像により作製する。

次に、ステップS1213では、ガラスとレジストとの選択比を一定にしたエッチング条件にてガラス基板をエッチングすることにより、レジストの形状がガラス基板上に転写され、レジストがガラス基板上で完全にエッチングされたところで、このレンズ形状を有する基板は完成する。

20

続けて、第3の基板3009の作製方法を図38で説明する。まず、ステップS1301では、基板には、面方位(100)単結晶のシリコン基板3801を用いる。面方位(110)、(111)の単結晶シリコンや、ガラス、石英などの誘電体結晶、あるいは、GaAs等の半導体結晶を用いてもよい。

次に、ステップS1302では、単結晶シリコンの面方向によるエッチングレート差による異方性を有するエッチングを利用してシリコン基板内に逆ピラミッド状の貫通した穴3802を形成し、その頂点に開口を設ける。マスク材となる熱酸化膜を基板上に形成し、所望の個所を、フォトリソグラフィとエッチングによりパターンニングし、シリコンを露出させ、水酸化カリウム水溶液、あるいはテトラメチルアンモニウムハイドロオキシド水溶液といった結晶軸異方性エッチングによりパターンニング部のシリコンをエッチングする。このとき、(111)面と等価な4つの面で囲まれたテーパを有する逆ピラミッド状の穴3802が基板を貫通して形成される。テーパ角は(111)と(100)により決まる54.7°となり、穴径はスライダ面に近づくにつれ縮小しスライダ面には一辺が1μm以下の微小な開口となる。また、エッチング溶液に浸すことに代わり、異方性を有するドライエッチング、例えば反応性イオンエッチング(RIE)装置によるエッチングを用いることによっても逆錐状の穴の形成が可能となる。マスク材として、熱酸化膜に代わり、酸化珪素膜や窒化珪素膜を用いても良い。その後、マスク材である熱酸化膜を弗化水素酸と弗化アンモニウムの混合水溶液で除去する。

30

40

次に、ステップS1303では、逆錐状の穴の上面に光反射膜3803を積層形成する。光反射率の高い金、銀、アルミ等の金属膜を真空蒸着法にて穴の内部に成膜する。被覆方法として、スパッタリング法やイオンプレーティング法を用いて成膜しても良い。光反射膜3803を設けることにより、上方より照射された光が斜面にあたった場合でもその光を反射させることにより開口により多くの光を導くことが可能となる。この結果、開口により多くの近視野光を生成できる。また、外乱光の遮光膜としても機能する。また、この光反射膜の積層により微小開口3804のサイズが決定される。ステップS1302の工程で基板のエッチングにより形成された開口は、穴の内側に光反射膜を積層することでそのサイズは縮小し、光反射膜による開口が近視野光を発生させる微小開口3804となる。

50

従って、この実施の形態 13 による近視野光ヘッドによれば、レーザ光源より出射された光を損失少なく開口へ伝搬させ、特にレンズの効果あるいは開口近辺のテーパ状の反射効果によりに多くの光を微小開口に供給できる。また、メディアに平行な方向よりヘッド部に光を入射させる構成によりに高速に動くメディアに近接させながら一定の距離を保つことが可能となる。この結果、高密度な情報の記録再生を高速で実現できる。また、量産可能な微細加工工程にて作製することによりヘッドの小型化および低価格化が実現する。

(実施の形態 14)

図 39 は、実施の形態 14 に係る近視野光ヘッド 3900 の構成を示す一部の断面図である。実施の形態 14 における近視野光ヘッド 3900 では、第 1 の基板 3901 と第 2 の基板 3902 について、実施の形態 13 に示した第 1 の基板 3003 と第 2 の基板 3005 と同様であるが、近視野光を生成する微小開口 3904 を有する第 3 の基板 3903 は、図 39 に示す誘電体から成る錘状の突起 3905 の先端に金属膜 3906 の開口を設けた構成をしている。シリコン基板 3907 上に積層した石英系材料の一部分を加工することにより錘状の突起 3905 を形成するが、このとき、近視野光ヘッドのメディア側面内においてエッチングを施さない石英系材料の厚みと同じ材料でできた突起 3905 の先端部の高さと同様にし、かつこの面をメディアに近接させることで、メディアと突起 3905 の先端に存在する微小開口 3904 との距離を近づけることが可能となり、微小開口 3904 で生成された多くの近視野光をメディアに照射することが可能となる。また、アルミ、金、銀といった光反射率の高い材料を突起 3905 の周りに形成する金属膜 3906 に採用することにより、上方より照射された光を反射し、より多くの光を微小開口に集光できるようになっている。なお、シリコン基板 3907 には光を透過する突起 3904 に光を入射できるように突起 3905 の底面に向かって大きな穴が形成されている。また、突起 3905 の形は、円錐でも多角錐でも良い。あるいは釣鐘形のように突起の斜面が一定の角度を有していなくても良い。

また、実施の形態 14 における別の第 3 の基板として、光透過率の高い誘電体材料を使用してもよい。例えば、石英、ガラスといった基板を用いた場合、石英系材料を積層することなく、直接基板を加工し、図 39 と同様な錐形状をした突起を作製し、同様な作製方法で、金属膜あるいは微小開口を形成する。この基板を使用するときは、開口へ照射する光は基板内を伝搬していくため、シリコン基板 3907 内に形成した大きな穴を形成する必要はない。

実施の形態 14 に係る近視野光ヘッド 3900 も実施の形態 13 と同様に、第 1 から第 3 の基板を一体に接合することにより形成される。メディアに照射する所望の大きさの近視野光を得るために、第 3 の基板 3903 の厚み、レンズの NA や大きさあるいは厚みを考慮した光学設計に合うようそれぞれの基板の加工を行い、適切な位置合わせを行った後、接合を実施する。接合方法は、実施の形態 13 と同様である。

次に、実施の形態 14 における近視野光ヘッド 3900 の製造工程を示す説明図である。第 1 の基板と第 2 の基板の製造方法は、実施の形態 13 に係る近視野光ヘッド製造工程と同様であり、説明を省略する。

図 40 で第 3 の基板 3903 の作製方法を説明する。ステップ S1311 では、実施の形態 13 と同様、基板には、面方位 (100) 単結晶のシリコンの基板 3907 を用いる。面方位 (110)、(111) の単結晶シリコンや、ガラス、石英などの誘電体結晶、あるいは、GaAs 等の半導体結晶を用いてもよい。

次に、ステップ S1312 では、酸化珪素の一種である TEOS 膜 3908 を CVD 法にて積層形成させる。その他の材料として光透過率の高い酸化シリコンや窒化シリコン等の石英系材料、ポリイミドやポリメタクリル酸といった高分子等の誘電体材料を用いても良い。

次に、ステップ S1313 では、フォトリソグラフィ技術と化学エッチング法を用いて TEOS 膜 3908 の一部を錐形状に加工する。この部分が図 39 における突起 3905 となる。フォトリソグラフィを用いてエッチングの特性に適合した形状のエッチングマスクを作製するが、ドライエッチングを用いる場合は、エッチングマスクの形状が転写されな

10

20

30

40

50

がらT E O S膜3 9 0 8のエッチングが進行するため、エッチングマスク自体にあらかじめ突起3 9 0 5の形状をもたせておく必要がある。このようなエッチングマスク形状を形成するときには、フォトリソグラフィーの露光の際にグレイスケールマスクあるいはイメージンマスクといった階調を有する光学マスクを用いる。このような光学マスクにより決定される特徴的なエッチングマスクの形状により、任意の形状にT E O S膜3 9 0 8を加工することが可能となる。また、ドライエッチングでもスパッタ系のエッチング法を用いる場合の作製方法はまた異なる。あらかじめT E O S膜3 9 0 8を柱型あるいは台形に加工する。その後、スパッタ系エッチングを施すことにより、柱あるいは台形の角だけが削れていき、先端の尖った突起形状が作製される。上記ドライエッチングと異なり、ウェットエッチングを用いる場合は、エッチングマスク形状とマスク下のアンダーエッチングの速度を調整することにより任意の形状のT E O S膜の突起を作製できる。まず、エッチングマスク形状を円形、三角形、四角形にした場合、それぞれ、先鋭化した円錐、三角錐、四角錐の形状が形成される。これは、ウェットエッチングの等方性を利用したものである。マスク形状の円形、三角形、四角形は、フォトリソグラフィー技術を用いたレジストの露光と現像により容易に作製できる。またアンダーエッチングの速度を調節することにより任意のテーパ角度をもつ突起を形成することが可能となる。フォトリソグラフィーマスクとして使用の場合は、T E O S膜表面粗さ、レジストの種類、コート方法あるいはベーキング温度の調整を行いT E O S膜とレジストの密着性を最適化することにより任意のテーパ角を作製する。ウェットエッチャントとして、弗化水素酸と弗化アンモニウムとの混合液を使用する。

また、スパッタ原理を用いた局所的なエッチングが可能なF I B (F o c u s e d I o n B e a m) 加工技術を用いて錐形状に加工しても良い。

次に、ステップS 1 3 1 4では、突起3 9 0 5に光を入射できるように裏面側からシリコン基板3 9 0 7をエッチングし、大きな穴を形成する。エッチングマスクとなる熱酸化膜をフォトリソグラフィー技術でパターニングし、シリコンを露出させ、シリコンの結晶軸に対し異方性を有するウェットエッチャント（水酸化カリウム水溶液、あるいはテトラメチルアンモニウムハイドロオキシド水溶液）を用いて穴を形成する。この場合、(1 1 1) 面のエッチングレートが遅いため、5 4 . 7 °の4つの斜面で囲まれた逆錐状の穴となる。この穴はシリコンを貫通しており、その結果シリコン裏面側から照射された光は、突起3 9 0 5の先端に到達することができる。

次に、ステップS 1 3 1 5では、加工したT E O S膜3 9 0 8の表面に金属膜3 9 0 6を積層形成する。光反射率の高い金、銀、アルミ等の金属膜3 9 0 6を真空蒸着法にて成膜する。デポレートの高い蒸着条件により、グレインサイズの小さい成膜が可能となる。被覆方法として、スパッタリング法やイオンプレーティング法を用いて成膜しても良い。金属膜3 9 0 6を設けることにより、上方より照射された光が突起3 9 0 5の斜面にあたった場合でもその光を反射させることにより先端により多くの光を導くことが可能となる。

次に、ステップS 1 3 1 6では、突起3 9 0 5の先端部の金属膜3 9 0 6を加工し、微小開口3 9 0 4を形成する。ステップS 1 3 1 5での金属膜3 9 0 6の成膜で、方向依存性の高い成膜条件にて基板の斜め方向からデポすることにより、突起斜面の厚みに対し、先端部での厚みが薄くなる傾向がある。このような厚み分布をもった金属膜3 9 0 6をエッチングすることにより先端部に微小開口を形成することが可能となる。また、別の方法として、先端部に微小開口の大きさに相当する穴をもつマスク材を金属膜上面に形成し、先端部の金属膜だけを選択的にエッチングすることにより微小開口3 9 0 4を作製することも可能である。この場合エッチングのマスクとして、スピコートすることにより先端部だけ塗布されないで金属膜が露出された状態のフォトリソグラフィーマスクを使用したり、あるいはC V D法により先端部のみ薄く形成された誘電体をエッチングすることにより微小開口に相当する大きさの穴が形成されたものを使用することができる。

また、別の加工方法として、金属膜より硬い材料から成る表面が滑らかな平板を、突起先端部の上方より金属膜に押し当て、一定の負荷荷重を加えることにより、金属膜先端部の形状を平板の型にあうよう平らに変化させ、下層のT E O S膜を露出させることにより微小開口を作製しても良い。この場合、平板で押し当てず、先端の尖った形状のもの、ある

いは球状のものを先端部に押し当てて、金属膜をその型にはめ込んだ形状に加工することにより微小開口を作製することも可能である。

最後にステップS 1 3 1 7では、金属膜3 9 0 4の上面に保護膜3 9 0 9となる誘電体膜を形成する。保護膜3 9 0 9は3 0 n m以下の厚みに形成する。誘電体膜の形成により、金属膜の計時的な酸化による反射率の低下あるいは光の漏れ、あるいは媒体との接触に起因する光反射膜の剥離による光漏れを抑制することが可能となる。なお、このステップS 1 3 1 7は省略できる場合もある。

従って、この実施の形態1 4による近視野光ヘッドによれば、実施の形態1 3の効果に加え、開口を形成している材料の屈折率が空気より大きいことから開口近辺での光伝搬損失がより小さくなり、開口での光エネルギー密度が向上し、多くの近視野光を生成できる。また、開口近辺の斜面の形状を任意に設定でき、目的に合わせた形状の選択ができる。

(実施の形態1 5)

図4 1は、実施の形態1 5に係る近視野光ヘッド4 1 0 0の構成を示す一部の断面図である。実施の形態1 5における近視野光ヘッド4 1 0 0では、第1の基板4 1 0 1と第3の基板4 1 0 3について、実施の形態1 3と同様であるが、レンズ機能を有する第2の基板として、ボールレンズ4 1 0 2を使用している。ボールレンズ4 1 0 2は、第3の基板4 1 0 3の逆錘状の穴の内側に置かれ、第1の基板4 1 0 1内に形成された光導波路あるいは光反射層を通して伝播してきた光を、その形状あるいは屈折率に相当するレンズの効果により収束光として第3の基板4 1 0 3に形成された微小開口に照射する。このボールレンズ4 1 0 2の位置決め精度は、斜面の角度と球の半径の精度で決まるが、第3の基板4 1 0 3の穴は、(1 1 1)面で形成された5 4. 7°の一定の斜度を持つ逆四角錐形状をしているため、非常に高い精度のアライメントができる。また、ボールレンズ4 1 0 2の屈折率とその表面の曲率の大きさ(球の半径)の調節により、任意のNAをもつ光を微小開口に照射するできる。ボールレンズ4 1 0 2の材料としては、石英系材料もしくは高分子材料等の誘電体材料を用いる。

また、上記説明では第3の基板4 1 0 3として実施の形態1 3で示した基板を用いたが、同様に実施の形態1 4に示した第3の基板3 9 0 3を使用しても良い。また、第1の基板として、図3 1～図3 3に示した基板あるいは図3 4に示したV溝に光ファイバを差し込んだ基板を使用しても構わない。

実施の形態1 5における近視野光ヘッド4 1 0 0は、実施の形態1 3における近視野光ヘッド3 0 0 0と同様、第1の基板4 1 0 1から第3の基板4 1 0 3を接合して形成するが、この接合方法は、実施の形態1 3と同様、接着剤による接合あるいは陽極接合といった技術を用いる。

実施の形態1 5における近視野光ヘッド4 1 0 0の製造工程は、実施の形態1 3及び実施の形態1 4の説明で代用する。ボールレンズの製造方法については、省略する。

従って、この実施の形態1 5による近視野光ヘッドによれば、実施の形態1 3および実施の形態1 4の効果に加え、一定角度の斜面内にボールレンズを挿入することで精密なアライメントを必要とせずに、高い位置精度を得ることができる。この結果、レンズ位置決め工程が省け、生産効率の向上が望める。また目的に合わせ必要とする近視野光の光量は、レンズのNAに依存するところが大きく、ボールレンズの選択により容易に解決できる。

(実施の形態1 6)

図4 2は、実施の形態1 6に係る近視野光ヘッド4 2 0 0の構成を示す一部の断面図である。実施の形態1 6における近視野光ヘッド4 2 0 0では、第1の基板4 2 0 1と第3の基板4 2 0 3について、実施の形態1 3と同様であるが、レンズ機能を有する第2の基板を代用し、第3の基板4 2 0 3の微小開口近辺に、紫外線をあてると硬化する液体樹脂を球状の微粒子にして吹き付け、半球形になったまま紫外線を照射し硬化させることにより曲面形状によるレンズ効果を発揮する小型のレンズ4 2 0 2を作製している。

また、上記説明では第3の基板4 2 0 3として実施の形態1 3で示した基板を用いたが、同様に実施の形態1 4に示した第3の基板3 9 0 3を使用しても良い。この場合の近視野

10

20

30

40

50

光ヘッド4300を図43に示す。レンズとなる微粒子の吹き付けは、裏面に形成したシリコン基板の穴4301より行い、その穴の奥に存在するTEOS膜4303の面上に小型のレンズ4302を形成する。あるいは第3の基板としてシリコン基板ではなく石英系の基板を選択したときは、錘状の突起を形成した面の反対側の面上に吹き付け、小型のレンズを形成する。また、第1の基板として、図31～図33に示した基板あるいは図34に示したV溝に光ファイバを差し込んだ基板を使用しても構わない。

実施の形態16における近視野光ヘッドは、第1の基板と第3の基板を接合して形成するが、この接合方法は、実施の形態13に説明した接合方法と同様、接着剤による接合あるいは陽極接合といった技術を用いる。

実施の形態16における近視野光ヘッドの製造工程は、実施の形態13及び実施の形態14の説明で代用する。

従って、この実施の形態16による近視野光ヘッドによれば、実施の形態13および実施の形態14の効果に加え、微粒子の吹き付けとその硬化により任意のレンズを形成でき、量産に適した工程で作製できる。

(実施の形態17)

図44は、実施の形態17に係る近視野光ヘッド4400の構成を示す一部の断面図である。実施の形態17における近視野光ヘッド4400は、第1の基板4401について、実施の形態13と同様であるが、第2の基板と第3の基板を同一基板とし、媒体面側に実施の形態14における第3の基板に形成した突起4402および微小開口4403を形成し、その反対側の面上に実施の形態14における第2の基板に使用した屈折率分布4404、レンズ形状、あるいはフレネルゾーンプレートやホログラフィックレンズを形成した光透過率の高いガラス基板を使用する。ガラス基板に限らず透過率の高い石英系誘電体基板を用いても良い。

このように、レンズ機能と錘状の突起及び微小開口を一連のフォトリソグラフィ工程を用いて一つの基板内に形成することにより、実施の形態14に記載の近視野光ヘッド作製において必要であった第2の基板と第3の基板の貼り合わせ工程が削減され、その貼り合わせ時の位置ずれにより生じた微小開口からの照射光量低下の問題を回避することが可能となる。

また、ガラス基板のメディア側面内に屈折率分布を形成し、この屈折率分布により集光する光が開口に照射されるようにその屈折率分布内に突起4402および微小開口4403を形成しても良い。この場合、屈折率分布をもつ突起4402が形成される。このように突起内に屈折率分布をもつ近視野光ヘッドは、開口近辺にレンズ機能を設けてあり、かつフォトリソグラフィを用いた微細加工プロセスにて作製できるため、その位置合わせ精度が向上し、安定した特性を示し、量産に適した構成となる。さらにこのガラス基板の第1の基板側面内に図44に示すようなレンズ機能を設け、ガラス基板の両面にレンズ機能を設けた構成にしても良い。このような両面にレンズ機能を有するガラス基板は、1つの基板の両面に同じ工程を施すことにより形成しても良く、また片面にレンズ機能を有する2枚のガラス基板を張り合わせることで形成しても構わない。このように両面にレンズ機能を設けた構成の近視野光ヘッドは、2カ所での集光機能により、集光作用が向上し、微小開口から多くの近視野光が生成できるとともに、1つのレンズで集光させ、微小開口に焦点を合わせるようにした場合に比較して、2つのレンズの組み合わせで焦点を合わせられ、レンズとレンズの位置合わせが厳しい精度を必要としないことから比較的容易に作製できる。

(実施の形態18)

図45は、実施の形態18に係る近視野光ヘッド4500の構成を示す一部の断面図である。実施の形態18における近視野光ヘッド4500は、図45に示すように第1の基板、第2の基板、第3の基板に含まれた光学要素(光導波路4501、光反射層4502、突起4503、微小開口4504)をすべて同一基板のメディア側の面内に形成した。

図46は、図45に示した実施の形態18における近視野光ヘッド4500の製造工程を示す説明図である。

10

20

30

40

50

はじめにステップS1401では、実施の形態13の第1の基板と同様に、シリコン基板4601に段差を設け、その斜面に光反射層4602を、下段に光反射層4602に光を照射する光導波路4603を形成する。実施の形態18の近視野光ヘッドにおいても、図31から図33に示した第1の基板を使用しても良い。

次に、ステップS1402では、光反射層4602および光導波路4603の上面にTEOS膜4604をCVD法にて積層形成する。他の誘電体材料を用いても問題ない。

次に、ステップS1403では、段差のあるTEOS膜の表面を研磨加工し、平坦化する。

次に、ステップS1404では、実施の形態14における近視野光ヘッドの作製工程ステップS1313と同様の工程を行い、TEOS膜4604に錐状をした突起4605を形成する。

10

最後に、ステップS1405では、実施の形態14における近視野光ヘッドの作製工程ステップS1315、S1316と同様の工程を実施し、図45に示す、微小開口4504を含む突起4503、光反射層4502、光導波路4501をスライダ面側に形成した実施の形態18における近視野光ヘッド4500を形成する。

このような構成の近視野光ヘッドは光導波路4501の出射端と微小開口4504との光路距離を短くできる。例えば積層する酸化珪素膜の厚みを10 μ m程度にすることにより、その距離を10 μ m以下に設定できる。この結果、出射端が離れるほど大きくなる伝搬光のビームスポット径を小さいまま微小開口に照射でき、多くの近視野光の生成が可能となる。またこの近視野光ヘッドの作製は、同一面への成膜とフォトリソグラフィを用いた薄膜の加工により形成され、接合の工程を含まない。よって、実施の形態13から17において問題であった、貼り合わせによって生じる位置ずれを減少させ、微小開口で生成する近視野光の光量向上が望める。

20

産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明の近視野光ヘッドによれば、近視野光ヘッドのフレクチャ機能を障害することなく、メディアに近接してその間隔を常に一定に保つことが可能となる。微小開口とメディアとの距離を近接させながら、メディアに対向した面が滑らかな平面であるために記録媒体との接触による損傷を低減できる構造であるため、壊れにくく丈夫で、しかも信頼性の高く、また、信号S/N比の大きな近視野光ヘッドが作製できる。

さらに、ヘッド内には、メディア平行方向に光を伝搬させる光導波路およびその光を開口方向に反射させる機能および発散する光を収束するレンズ機能さらに開口近辺に光を集光するテーパ形状等の光の伝搬ロスを抑える構造に形成してあるため、集光したエネルギー密度の高い光を開口に低損失で伝搬できる。これにより開口より常に多くの安定した近視野光を発生でき、光を用いてS/N比が高く信頼性に優れた高密度記録再生方法を可能にした。

30

さらに、光伝搬体の幅が波長以下となる領域において光強度の減衰が激しくなるが、この領域が狭い構造を得ることにより、微小開口より多くの近視野光を生成することが可能となり、この結果、記録媒体の情報の記録および再生においてS/N比の高い信号を扱うことから信頼性の高い近視野光ヘッドを供給できる。

さらに、レーザ光源での光量が少ない場合でも、近視野光への変換効率が高いことから、記録媒体に必要とされる近視野光の供給が可能となる。よって、レーザ光源での電力が節約でき、低消費電力および低電圧駆動可能な情報再生記録装置の供給が可能となる。

40

さらに、上方より近視野光ヘッドに光を入射させる場合に装置構成が大型化する問題に対し、記録媒体に対し平行方向から近視野光ヘッドに光を導入させることにより、装置全体の小型化、薄型化が可能となるとともに、高速運動する記録媒体のうねりに追従し、常に記録媒体に対して一定の相対位置を保つことが可能であるため、記録媒体に対し常に安定した近視野光の供給が可能となり、信頼性の高い近視野光ヘッドが供給できる。

また、開口から突出した突起部を設けた構成により、突起部先端の曲率半径に相当する高い分解能による微小ビットへの情報記録再生が可能となる。また、突起の形状による特徴的な近視野光の空間分布が生じ、これを利用して効果的に照射範囲を決定できる。

50

また、本構成の光ヘッドは、シリコンなどを用いた微細加工プロセスにて作製でき、またヘッドへの光をメディアと平行な方向より入射することにより、装置全体の小型化および薄型化が可能となり、同時にバッチ処理可能な量産工程への適用による低コスト化や製品の安定性および高信頼性も実現した。また、2次元に配列したアレイ化に適した構造であり、光メモリヘッドとして使用した場合、高速な光の記憶または再生が可能となる。

また、本発明の近視野光ヘッドの製造方法によれば、目的とする大きさ以上の開口を形成したシリコン基板に対して、金属膜の成膜、熱酸化、イオン注入によって、近視野光を生成するための微小開口の大きさおよび形状を規定するので、エッチング処理等により微小開口の大きさおよび形状を規定するのに比較して、より正確で歩留まり良く近視野光ヘッドを製造することができる。

10

【図面の簡単な説明】

図1は、本発明の実施の形態1に係る光記憶再生装置の概略図である。

図2は、本発明の実施の形態1に係る近視野光ヘッドのメディア側面の概略図である。

図3は、本発明の実施の形態1に係る近視野光ヘッドのメディア側面の概略図である。

図4は、本発明の実施の形態1に係る近視野光ヘッドのメディア側面の概略図である。

図5は、本発明の実施の形態1に係る近視野光ヘッドの一部を示す断面図である。

図6は、図5に示した近視野光ヘッドの製造工程を示す説明図である。

図7は、本発明の実施の形態1に係る近視野光ヘッドのアレイ化を示す説明図である。

図8は、本発明の実施の形態2に係る近視野光ヘッドの一部を示す断面図である。

図9は、本発明の実施の形態3に係る近視野光ヘッドを構成しているシリコン基板の一部を示す断面図である。

20

図10は、図9に示した近視野光ヘッドを構成しているシリコン基板の製造工程を示す説明図である。

図11は、本発明の実施の形態4に係る近視野光ヘッドを構成しているシリコン基板の一部を示す断面図である。

図12は、図11に示した近視野光ヘッドを構成しているシリコン基板の製造工程の一例を示す説明図である。

図13は、図11に示した近視野光ヘッドを構成しているシリコン基板の製造工程の一例を示す説明図である。

図14は、本発明の実施の形態5に係る近視野光ヘッドの製造方法においてシリコン基板に形成された開口の断面図である。

30

図15は、本発明の実施の形態5においてテーパ部上に成膜後の開口の断面図である。

図16は、実施の形態5において修正後の微小開口の上面図である。

図17は、実施の形態5においてテーパ部上に成膜した場合の膜厚 t と突出量 Δr の関係を示す図である。

図18は、実施の形態5において膜厚 t と最大突出部の底面から高さ Δz の関係を示す図である。

図19は、本発明の実施の形態5に係る、平面基板に形成した微小開口の大きさや形状を制御する様子を示す説明図である。

図20は、本発明の実施の形態6に係る、平面基板に形成した微小開口の大きさや形状を制御する様子を示す説明図である。

40

図21は、本発明の実施の形態7に係る近視野光ヘッドの一部を示す断面図である。

図22は、図21に示した近視野光ヘッドの製造工程を示す説明図である。

図23は、本発明の実施の形態7に係る光導波路をもつ近視野光ヘッドのアレイを示す説明図である。

図24は、本発明の実施の形態8に係る近視野光ヘッドの一部を示す断面図である。

図25は、本発明の実施の形態9による近視野光ヘッドの構成を示す側断面図である。

図26は、本発明の実施の形態9による近視野光ヘッドの製造方法を説明する側断面図である。

図27は、本発明の実施の形態10による近視野光ヘッドの構成を示す側断面図である。

50

図 28 は、本発明の実施の形態 11 による近視野光ヘッドの構成を示す側断面図である。
 図 29 は、本発明の実施の形態 12 による近視野光ヘッドの構成を示す側断面図である。
 図 30 は、本発明の実施の形態 13 による近視野光ヘッドの構成を示す側断面図である。
 図 31 は、本発明の実施の形態 13 による近視野光ヘッドの一部を示す側断面図である。
 図 32 は、本発明の実施の形態 13 による近視野光ヘッドの一部を示す側断面図である。
 図 33 は、本発明の実施の形態 13 による近視野光ヘッドの一部を示す側断面図である。
 図 34 は、本発明の実施の形態 13 による近視野光ヘッドの一部を示す側断面図である。
 図 35 は、本発明の実施の形態 13 による近視野光ヘッドの一部の製造方法を説明する側断面図である。

図 36 は、本発明の実施の形態 13 による近視野光ヘッドの一部の製造方法を説明する側断面図である。

図 37 は、本発明の実施の形態 13 による近視野光ヘッドの一部の製造方法を説明する側断面図である。

図 38 は、本発明の実施の形態 13 による近視野光ヘッドの一部の製造方法を説明する側断面図である。

図 39 は、本発明の実施の形態 14 による近視野光ヘッドの構成を示す側断面図である。

図 40 は、本発明の実施の形態 14 による近視野光ヘッドの一部の製造方法を説明する側断面図である。

図 41 は、本発明の実施の形態 15 による近視野光ヘッドの構成を示す側断面図である。

図 42 は、本発明の実施の形態 16 による近視野光ヘッドの構成を示す側断面図である。

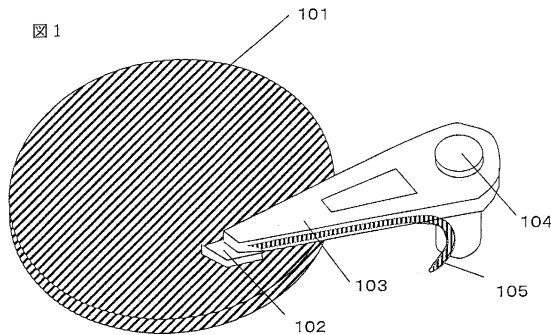
図 43 は、本発明の実施の形態 16 による近視野光ヘッドの構成を示す側断面図である。

図 44 は、本発明の実施の形態 17 による近視野光ヘッドの構成を示す側断面図である。

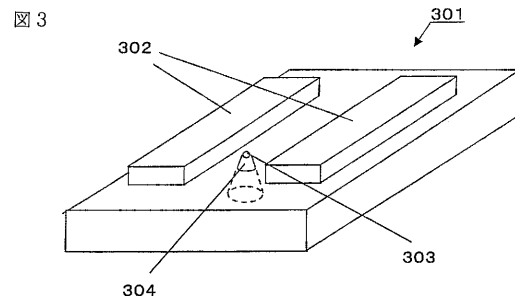
図 45 は、本発明の実施の形態 18 による近視野光ヘッドの構成を示す側断面図である。

図 46 は、図 45 に示した実施の形態 18 における近視野光ヘッドの製造工程を示す説明図である。

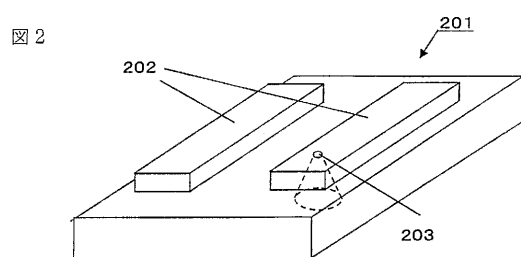
【図 1】



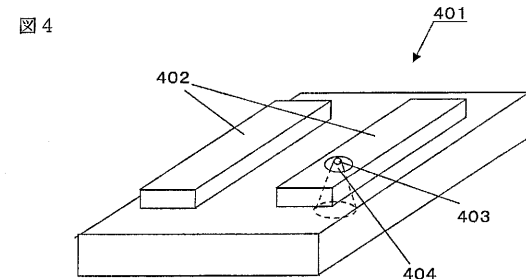
【図 3】



【図 2】



【図 4】

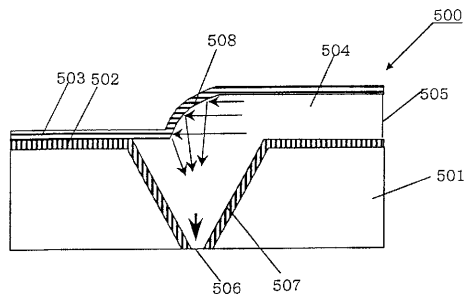


10

20

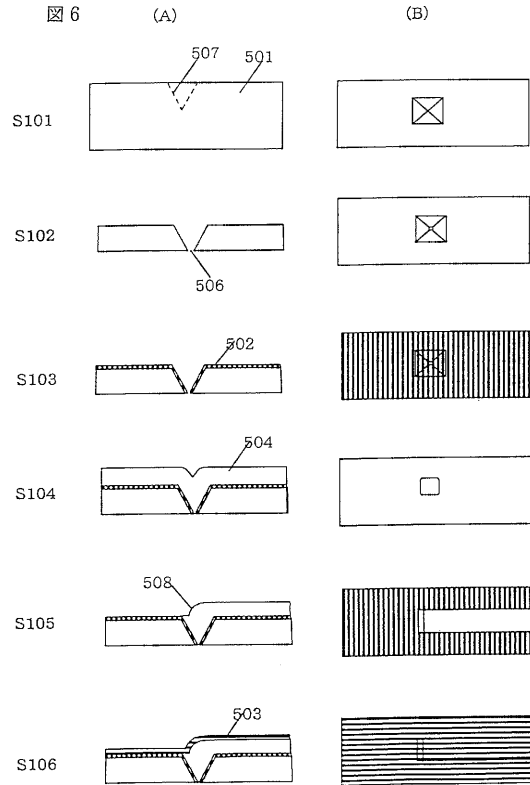
【図 5】

図 5



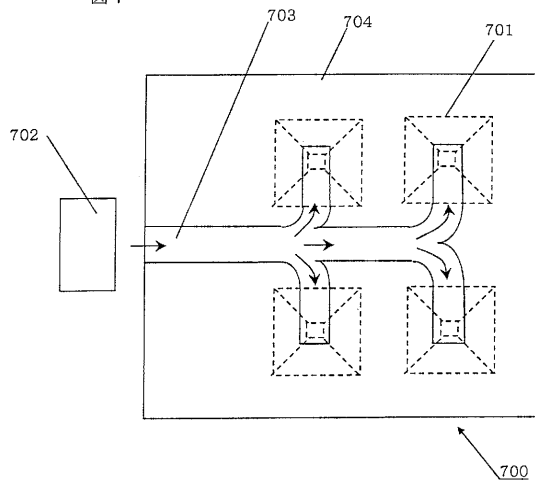
【図 6】

図 6



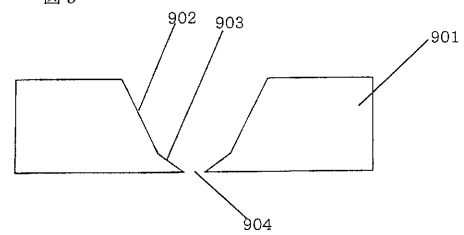
【図 7】

図 7



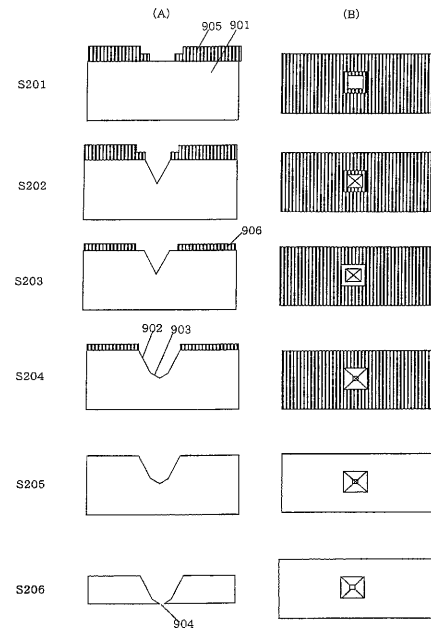
【図 9】

図 9



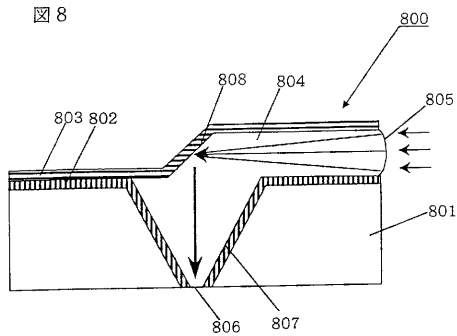
【図 10】

図 10



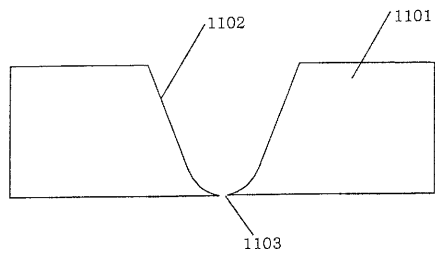
【図 8】

図 8



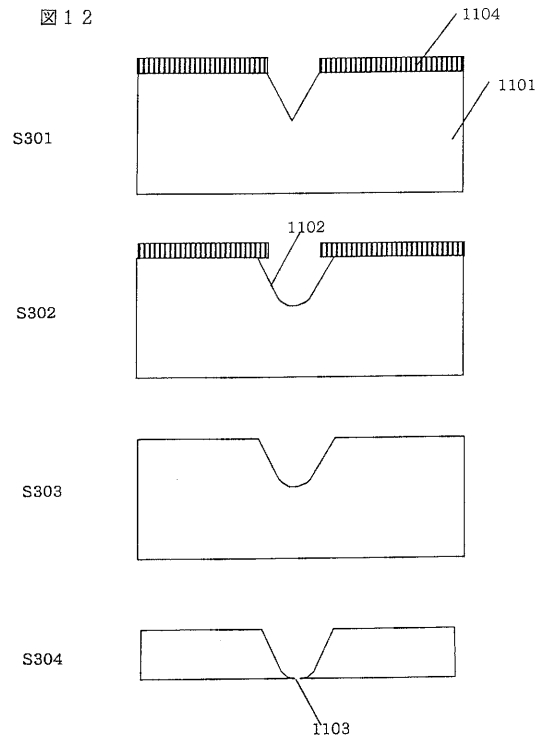
【図 11】

図 11



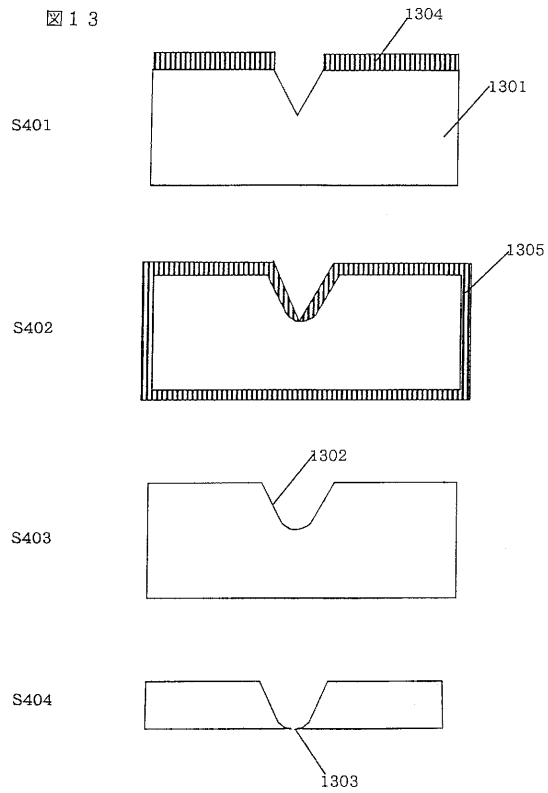
【図 12】

図 12



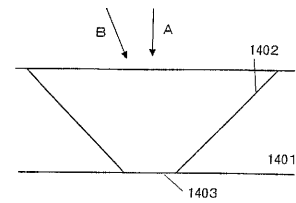
【図 13】

図 13



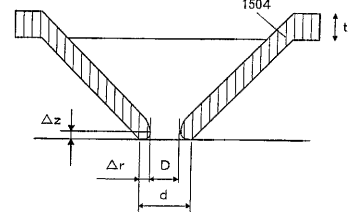
【図 14】

図 14



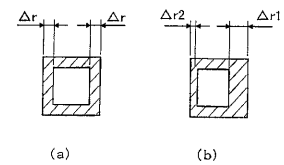
【図 15】

図 15



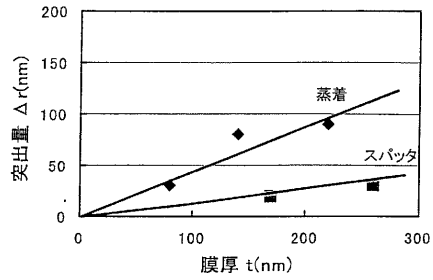
【図 16】

図 16



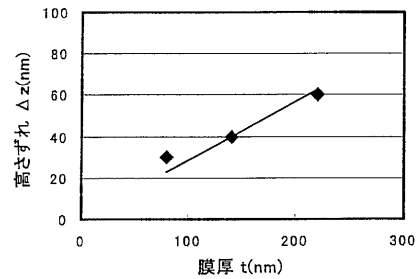
【図 17】

図 17



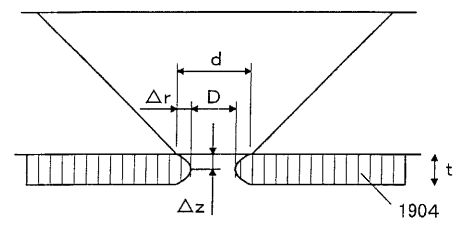
【図 18】

図 18



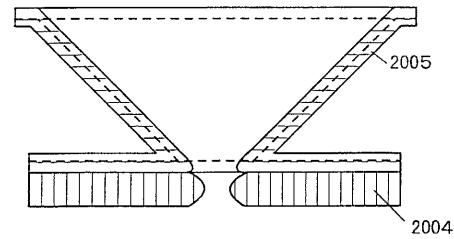
【図 19】

図 19



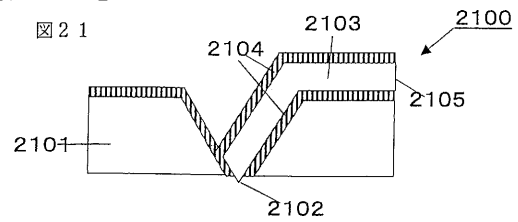
【図 20】

図 20



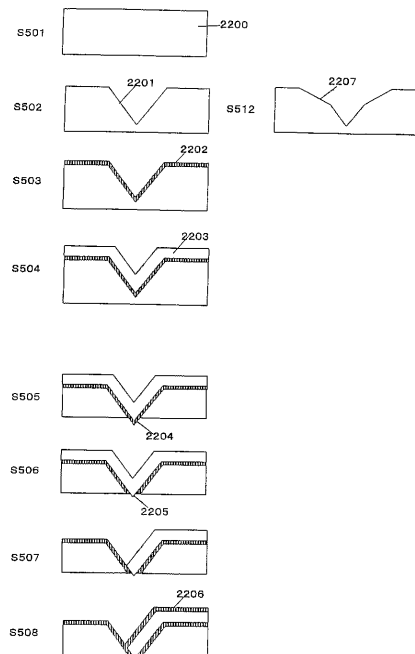
【図 21】

図 21



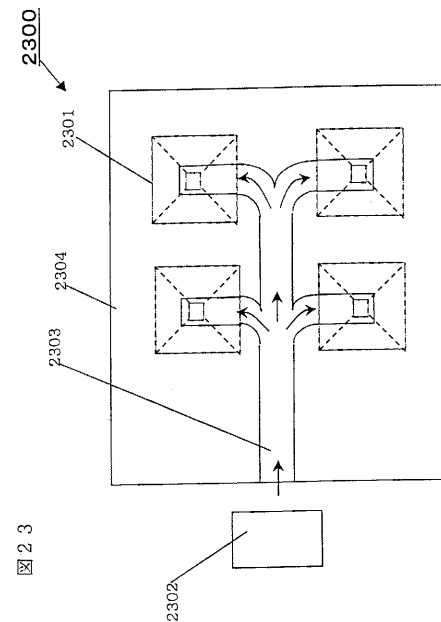
【図 22】

図 22



【図 23】

図 23



【図 24】

図 24

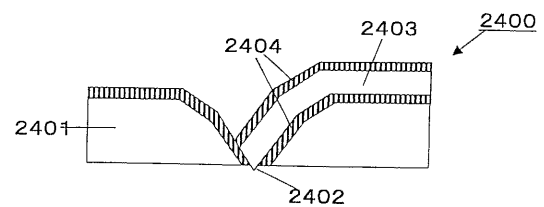
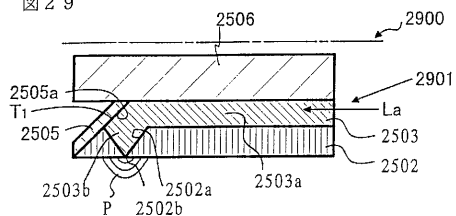
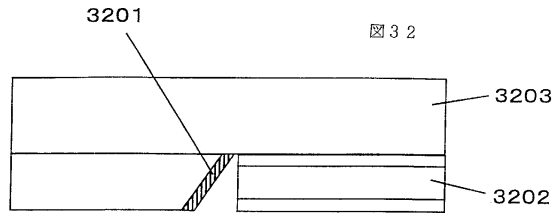


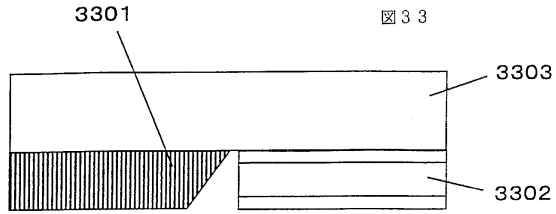
图 2 5



【図 3 2】

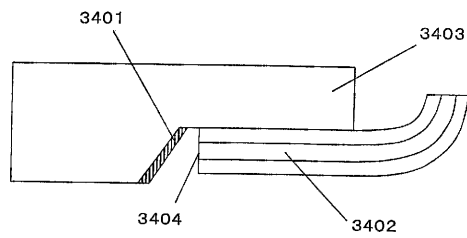


【図 3 3】

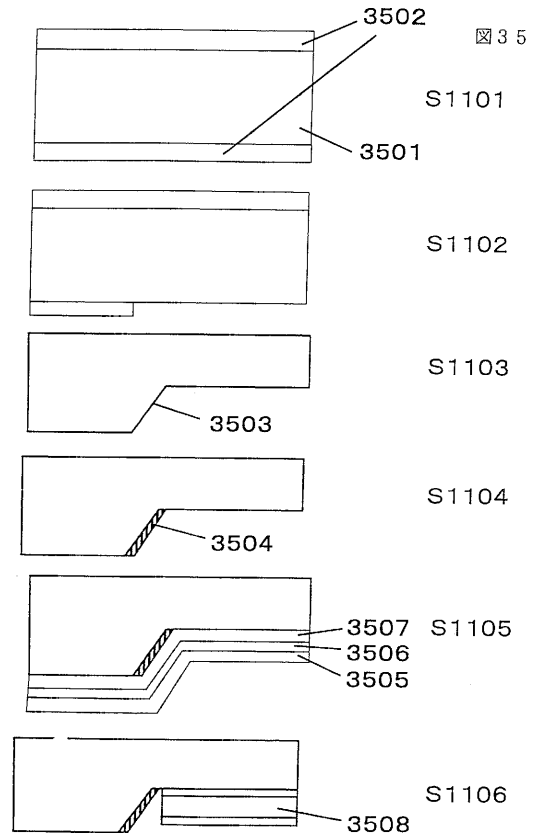


【図 3 4】

図 3 4

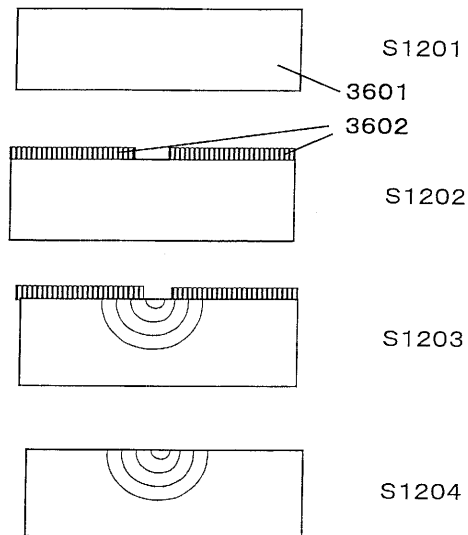


【図 3 5】



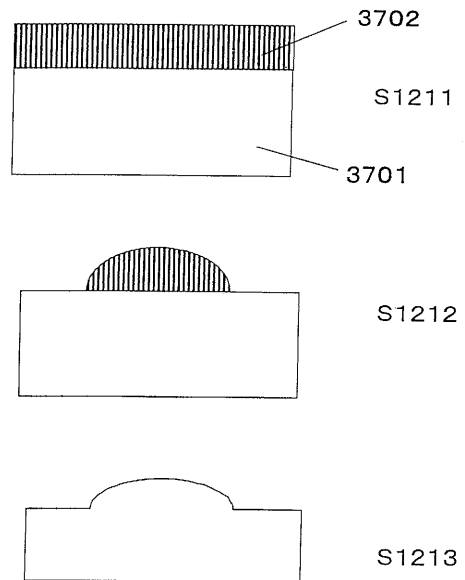
【図 3 6】

図 3 6



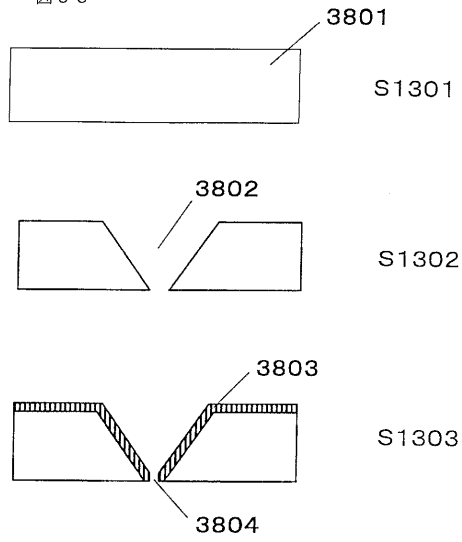
【図 3 7】

図 3 7



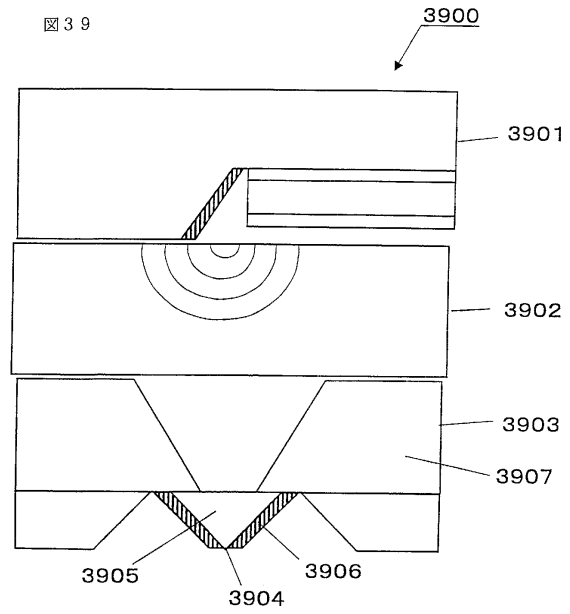
【図 38】

図 38



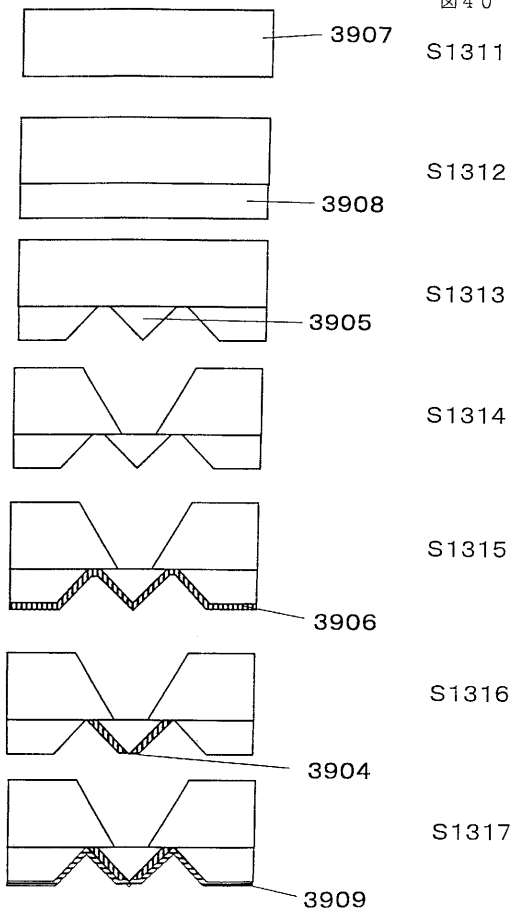
【図 39】

図 39



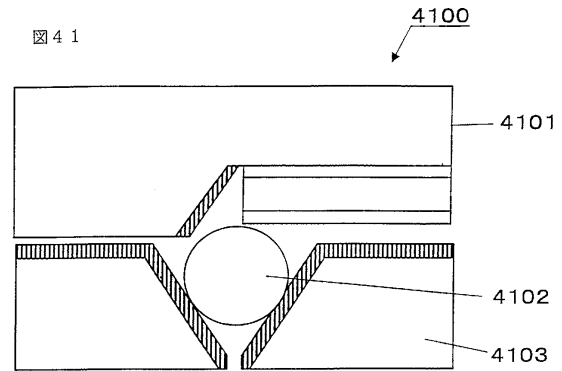
【図 40】

図 40



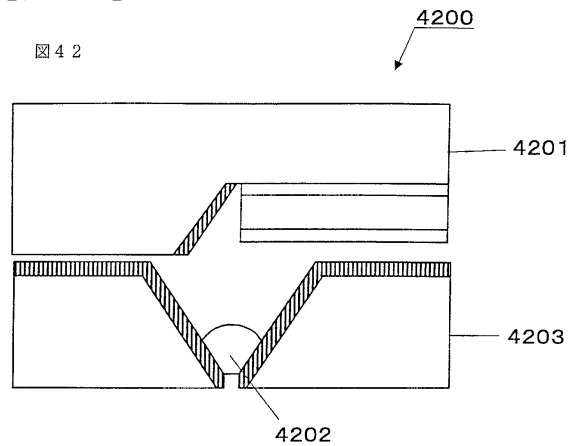
【図 41】

図 41



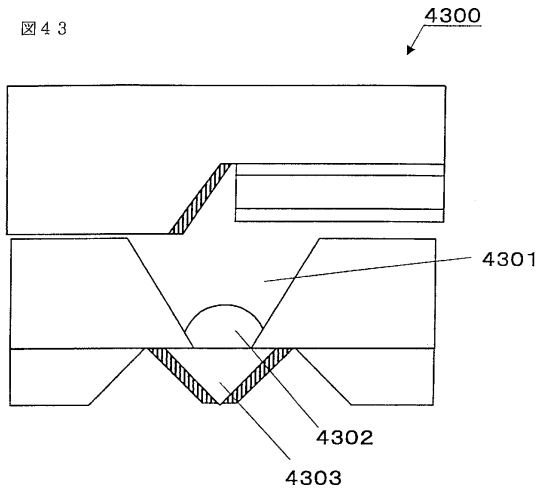
【図 42】

図 42



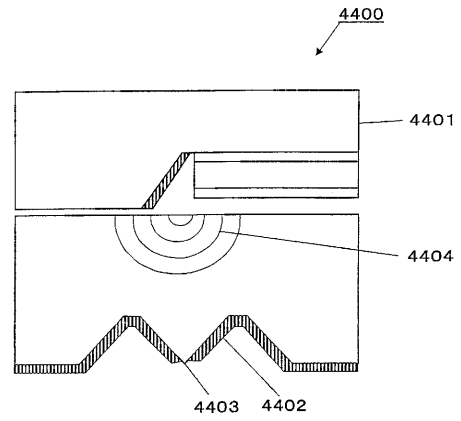
【図 4 3】

図 4 3



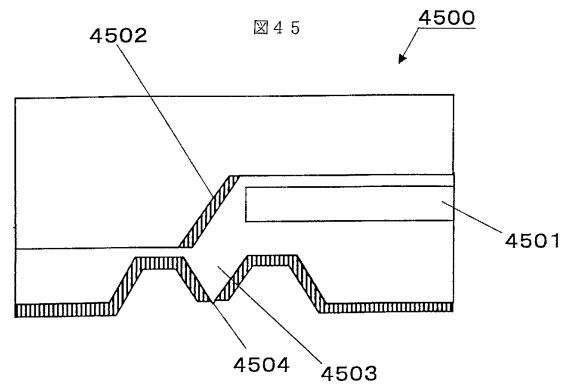
【図 4 4】

図 4 4



【図 4 5】

図 4 5



【図 4 6】

4602

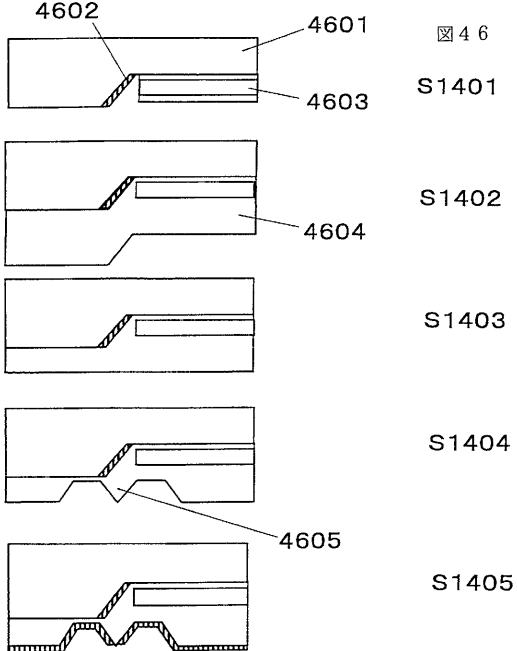


図 4 6

S1401

S1402

S1403

S1404

S1405

フロントページの続き

(31)優先権主張番号 特願平11-210973

(32)優先日 平成11年7月26日(1999.7.26)

(33)優先権主張国 日本国(JP)

(72)発明者 千葉 徳男

千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 セイコーインスツルメンツ株式会社内

(72)発明者 大海 学

千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 セイコーインスツルメンツ株式会社内

(72)発明者 笠間 宣行

千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 セイコーインスツルメンツ株式会社内

(72)発明者 光岡 靖幸

千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 セイコーインスツルメンツ株式会社内

審査官 中野 浩昌

(56)参考文献 国際公開第98/007147 (WO, A1)

特開平03-147550 (JP, A)

特開平05-020723 (JP, A)

特開平05-234118 (JP, A)

特開昭61-250852 (JP, A)

特開平05-062237 (JP, A)

特開平11-223638 (JP, A)

特開平09-073677 (JP, A)

特開平06-331805 (JP, A)

国際公開第98/009285 (WO, A1)

特開2000-082234 (JP, A)

特開2000-113485 (JP, A)

特開平6-180883 (JP, A)

特開平5-189904 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G11B 7/12-7/22

G01N 37/00

G02B 6/12

G02B 21/00