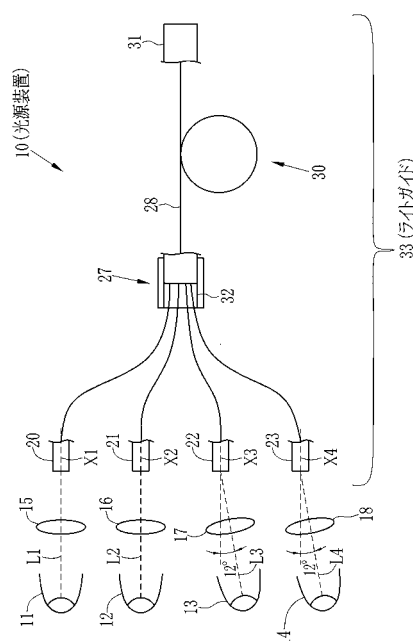




【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

出射光の光量分布が径方向に対して略凸状になるように光を入射する複数の第 1 マルチモード光ファイバと、出射光の光量分布が径方向に対して略凹状になるように光を入射する複数の第 2 マルチモード光ファイバとがバンドル化されたバンドルファイバを備え、前記第 1 及び第 2 マルチモード光ファイバには、出射面に向かって径が徐々に小さくなるテーパコア及び前記テーパコアの外周上に一定厚みで設けられるテーパクラッドが設けられていることを特徴とするライトガイド。

【請求項 2】

前記第 2 マルチモード光ファイバに入射させる光の入射角度は、前記第 1 マルチモード光ファイバに入射させる光の入射角度よりも大きいことを特徴とする請求項 1 記載のライトガイド。

10

【請求項 3】

前記第 1 マルチモード光ファイバ（受光角 θ ）に入射させる光の入射角度は 0° 以上 $\theta/2$ 以下であり、前記第 2 マルチモード光ファイバ（受光角 θ ）に入射させる光の入射角度は $\theta/2$ 以上 θ 以下であることを特徴とする請求項 2 記載のライトガイド。

【請求項 4】

前記第 1 又は第 2 マルチモード光ファイバの入射端面は、それら光軸に直交する面に対してそれぞれ傾斜しており、前記第 2 マルチモード光ファイバの入射端面の傾斜角度は、前記第 1 マルチモード光ファイバの入射端面の傾斜角度よりも大きいことを特徴とする請求項 1 記載のライトガイド。

20

【請求項 5】

前記第 1 マルチモード光ファイバ（受光角 θ ）の入射端面の傾斜角度は 0° 以上 $\theta/2$ 以下であり、前記第 2 マルチモード光ファイバ（受光角 θ ）の入射端面の傾斜角度は $\theta/2$ 以上 θ 以下であることを特徴とする請求項 4 記載のライトガイド。

【請求項 6】

前記第 1 及び第 2 マルチモード光ファイバの NA は 0.2 以上であることを特徴とする請求項 1 ないし 5 いずれか 1 項記載のライトガイド。

【請求項 7】

前記バンドルファイバのファイバ本数は 19 本以下であることを特徴とする請求項 1 ないし 6 いずれか 1 項記載のライトガイド。

30

【請求項 8】

前記第 1 及び第 2 マルチモード光ファイバの径は 1 mm 以下であることを特徴とする請求項 1 ないし 7 いずれか 1 項記載のライトガイド。

【請求項 9】

出射光の光量分布が径方向に対して略凸状になるように光を入射する複数の第 1 マルチモード光ファイバ、及び出射光の光量分布が径方向に対して略凹状になるように光を入射する複数の第 2 マルチモード光ファイバがバンドル化されたバンドルファイバと、口径が第 1 及び第 2 マルチモード光ファイバの口径よりも大きい入射部に、前記第 1 マルチモード光ファイバの出射光と前記第 2 マルチモード光ファイバの出射光とが入射する大口径マルチモード光ファイバとを備え、前記大口径マルチモード光ファイバには、出射面に向かって径が徐々に小さくなるテーパコア及び前記テーパコアの外周上に一定厚みで設けられるテーパクラッドが設けられていることを特徴とするライトガイド。

40

【請求項 10】

前記大口径マルチモード光ファイバから出射する光のスペckルを低減するスペckル低減部が、前記大口径マルチモード光ファイバに設けられることを特徴とする請求項 9 記載のライトガイド。

【請求項 11】

前記出射面から一定深さで前記テーパクラッドの外周面の一部又は全部が露呈するよう

50

に、前記大口径マルチモード光ファイバを保持するファイバ保持部材と、
外周面の一部又は全部が露呈した前記テーパクラッドから漏洩する光を放出させる光放出空間部を備えることを特徴とする請求項 9 または 10 記載のライトガイド。

【請求項 12】

複数の光源と、
出射光の光量分布が径方向に対して略凸状になるように前記光源から光を入射する複数の第 1 マルチモード光ファイバ、及び出射光の光量分布が径方向に対して略凹状になるように前記光源から光を入射する複数の第 2 マルチモード光ファイバがバンドル化されたバンドルファイバと、
前記バンドルファイバから光を出射する光出射部とを備え、
前記第 1 及び第 2 マルチモード光ファイバには、出射面に向かって径が徐々に小さくなるテーパコア及び前記テーパコアの外周上に一定厚みで設けられるテーパクラッドが設けられていることを備えることを特徴とする光源装置。

10

【請求項 13】

請求項 12 記載の光源装置と、
前記光源装置の光出射部から出射した光により照明される被検者の体腔内部を撮像する内視鏡と、
前記撮像により得られる画像を処理する画像処理装置とを備えることを特徴とする内視鏡システム。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体ウエハの露光用や内視鏡の照明用などに使用されるライトガイドに関する。本発明は、そのライトガイドを搭載する光源装置及び内視鏡システムに関する。

【背景技術】

【0002】

複数の光ファイバを束ねたバンドルファイバや通常の光ファイバよりも口径が大きい大口径光ファイバなどの各種光ファイバは、データ信号の伝送に用いられる他に、例えば、半導体ウエハの露光装置において、半導体ウエハを露光する露光光を光出射部までガイドするための露光用ライトガイド（特許文献 1 参照）として用いられ、また、内視鏡の光源装置において、被検者の体腔内部を照明する照明光を内視鏡先端部まで導光する内視鏡照明用ライトガイド（特許文献 2 参照）として用いられている。

30

【0003】

特許文献 1 のように、光ファイバを露光用ライトガイドとして用いた場合には光量分布が不均一な光がウエハ上に当たると、所望のレジストパターンを得ることができない。また、特許文献 2 のように、光ファイバを内視鏡照明用のライトガイドとして用いた場合には、光量分布が不均一な光が、体腔内の光反射率の高い領域に当たったり、また、体腔内部の凹凸差が激しい領域に当たったりすると、内視鏡で得られる画像に明るい部分と暗い部分が出てしまうため、画像から病変部を容易に見出せないことがある。

40

【0004】

そこで、光量分布が均一な光を得るために、これまでは、バンドルファイバを構成する光ファイバの本数を更に増やしたりする他、特許文献 1 では、光ファイバの出射端面における出射光の位置や光量分布を検出し、その検出結果に応じて光ファイバに入射する光の光量分布を制御している。また、特許文献 2 では、光ファイバの光入射端を光軸に直交する方向に移動させることで、出射光の光量分布がファイバ径方向に均一になるようにしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2003 - 322730 号公報

50

【特許文献2】特開2000-199864号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献1では、出射光の位置や光量分布を検出する装置や入射光の光量分布を制御する装置が必要となり、また、特許文献2では、光ファイバの入射端を移動させる機構が必要となるため、いずれの場合であっても、装置全体が大型化するとともに、光量分布の均一化のためのコストが別途必要となってしまう。

【0007】

また、一般的に、複数のモードを導光可能なマルチモードファイバに対して光を入射させる場合やマルチモードファイバ間を光結合する場合、光入射時や結合時の安定性を得る観点からファイバのNA以下、即ちファイバの受光角以下でレーザを入射又は結合させている。したがって、ファイバから出射する光の光量分布は、中央部の強度が周辺部よりも高くなるため、ファイバの光出射面における光量分布は均一にならない。

【0008】

本発明は、装置全体を大型化せず、またコストを別途必要とすることなく、出射光の光量分布を均一化することができるライトガイド及び光源装置並びに内視鏡システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成するために、本発明のライトガイドは、出射光の光量分布が径方向に対して略凸状になるように光を入射する複数の第1マルチモード光ファイバと、出射光の光量分布が径方向に対して略凹状になるように光を入射する複数の第2マルチモード光ファイバとがバンドル化されたバンドルファイバを備え、前記第1及び第2マルチモード光ファイバには、出射面に向かって径が徐々に小さくなるテーパコア及び前記テーパコアの外周上に一定厚みで設けられるテーパクラッドが設けられていることを特徴とする。

【0010】

前記第2マルチモード光ファイバに入射させる光の入射角度を、前記第1マルチモード光ファイバに入射させる光の入射角度よりも大きくする。具体的には、前記第1マルチモード光ファイバ（受光角 θ ）に入射させる光の入射角度を 0° 以上 $\theta/2$ 以下とすることで、前記第1マルチモード光ファイバの出射光の光量分布を径方向に対して略凸状にする。また、前記第2マルチモード光ファイバ（受光角 θ ）に入射させる光の入射角度を $2/\theta$ 以上 θ 以下とすることで、前記第2マルチモード光ファイバの出射光の光量分布を径方向に対して略凹状にする。これら出射光を重ね合わせることにより、バンドルファイバの出射端面からは光量分布がファイバ径方向に対して均一な光が放射される。例えば、第1及び第2マルチモード光ファイバのNA（Numerical Aperture）が0.22の場合、受光角 θ （ $\theta = \sin^{-1} \text{NA}$ ）は 12.7° 以下である。

【0011】

前記第1又は第2マルチモード光ファイバの入射端面を、それら光軸に直交する面に対してそれぞれ傾斜させ、前記第2マルチモード光ファイバの入射端面の傾斜角度を、前記第1マルチモード光ファイバの入射端面の傾斜角度よりも大きくする。具体的には、前記第1マルチモード光ファイバ（受光角 θ ）の入射端面の傾斜角度を 0° 以上 $\theta/2$ 以下とすることで、前記第1マルチモード光ファイバの出射光の光量分布を径方向に対して略凸状にする。また、前記第2マルチモード光ファイバ（受光角 θ ）の入射端面の傾斜角度を $2/\theta$ 以上 θ 以下とすることで、前記第2マルチモード光ファイバの出射光の光量分布を径方向に対して略凹状にする。これら出射光を重ね合わせることにより、バンドルファイバの出射端面からは光量分布がファイバ径方向に対して均一な光が放射される。

【0012】

前記第1及び第2マルチモード光ファイバのNAが0.2以上であることが好ましい。第1マルチモード光ファイバには、出射光の光量分布が凸状になるように、NA（0.2）

10

20

30

40

50

よりもかなり小さくして光を入射させる（受光角以下）。これに対して、第２マルチモード光ファイバには、出射光の光量分布が凹状になるように、光ファイバのNA（0.2）付近まで近づけて光を入射させている。したがって、本発明では、光ファイバが本来有しているNAを十分に利用することによって、光量分布の均一化を図っている。

【0013】

前記バンドルファイバのファイバ本数は19以下であることが好ましく、原理上は2本以上あれば少ない本数でも均一な光量分布を得ることができる。したがって、従来のように、数100本もの光ファイバを用いなくとも、光量分布を均一化することができる。また、従来では、光ファイバの径は10mm以上なければ光量分布の均一化は困難であったが、本発明によれば、前記第1及び第2マルチモード光ファイバの径が1mm以下であったとしても、光量分布を均一化することができる。

10

【0014】

本発明のライトガイドは、出射光の光量分布が径方向に対して略凸状になるように光を入射する複数の第1マルチモード光ファイバ、及び出射光の光量分布が径方向に対して略凹状になるように光を入射する複数の第2マルチモード光ファイバがバンドル化されたバンドルファイバと、口径が第1及び第2マルチモード光ファイバの口径よりも大きい入射部に、前記第1マルチモード光ファイバの出射光と前記第2マルチモード光ファイバの出射光とが入射する大口径マルチモード光ファイバとを備え、前記大口径マルチモード光ファイバには、出射面に向かって径が徐々に小さくなるテーパコア及び前記テーパコアの外周上に一定厚みで設けられるテーパクラッドが設けられていることを特徴とする。

20

【0015】

前記大口径マルチモード光ファイバから出射する光のスペckルを低減するスペckル低減部が、前記大口径マルチモード光ファイバに設けられることから、大口径マルチモード光ファイバからは、干渉の無いスペckルが低減された光が発せられる。

【0016】

前記出射面から一定深さで前記テーパクラッドの外周面の一部又は全部が露呈するように、前記大口径マルチモード光ファイバを保持するファイバ保持部材と、外周面の一部又は全部が露呈した前記テーパクラッドから漏洩する光を放出させる光放出空間部を備えることにより、大口径マルチモード光ファイバから出射する光の広がり角及びNAは、テーパコア及びテーパクラッドや光放出空間部を無しのときの広がり角及びNAよりも更に拡大する。

30

【0017】

本発明の光源装置は、複数の光源と、出射光の光量分布が径方向に対して略凸状になるように前記光源から光を入射する複数の第1マルチモード光ファイバ、及び出射光の光量分布が径方向に対して略凹状になるように前記光源から光を入射する複数の第2マルチモード光ファイバがバンドル化されたバンドルファイバと、前記バンドルファイバから光を出射する光出射部とを備え、前記第1及び第2マルチモード光ファイバには、出射面に向かって径が徐々に小さくなるテーパコア及び前記テーパコアの外周上に一定厚みで設けられるテーパクラッドが設けられていることを特徴とする。

40

【0018】

本発明の内視鏡システムは、上記記載の本発明の光源装置と、前記光源装置の光出射部から出射した光により照明される被検者の体腔内部を撮像する内視鏡と、前記撮像により得られる画像を処理する画像処理装置とを備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、装置全体を大型化することなく、またコストを別途必要とせずに、出射光の光量分布を均一化することができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】本発明の第1実施形態の光源装置を示す概略図である。

50

【図 2】(A) は入射角度 0° のときの細径光ファイバの出射光の光量分布を示すグラフであり、(B) はそのときの遠視野パターンを示す図である。

【図 3】(A) は入射角度 12° のときの細径光ファイバの出射光の光量分布を示すグラフであり、(B) はそのときの遠視野パターンを示す図である。

【図 4】(A) は光出射部から出射する光の光量分布を示すグラフであり、(B) はそのときの遠視野パターンを示す図である。

【図 5】一定の条件を有する細径光ファイバの放射パターンを示す図であり、(A) は入射角度 0° のときの細径光ファイバの出射光の放射パターン (FFP) を示す図を、(B) は入射角度 12° のときの細径光ファイバの出射光の放射パターン (FFP) を示す図を、(C) は入射角度 12° のときの細径光ファイバの出射光の放射パターン (NFP) を示す図を、(D) は、(A) に示す光と (B) 又は (C) に示す光とが重ね合わせて出射される光の放射パターン (FFP) を示す図である。

10

【図 6】本発明の第 1 実施形態における光出射部を示す縦断面図である。

【図 7】(A) はファイバ本体部を有する部分の光出射部の横端面図を、(B) は出射面を有する部分の光出射部の横端面図を示している。

【図 8】本発明の内視鏡システムを示す概略図である。

【図 9】本発明の第 2 実施形態の光源装置を示す概略図である。

【図 10】本発明の第 3 実施形態の光源装置を示す概略図である。

【図 11】入射角度 6° のときの細径光ファイバの出射光の光量分布 (NFP) を示すグラフである。

20

【図 12】入射角度 8° のときの細径光ファイバの出射光の光量分布 (NFP) を示すグラフである。

【図 13】入射角度 10° のときの細径光ファイバの出射光の光量分布 (NFP) を示すグラフである。

【図 14】入射角度 12° のときの細径光ファイバの出射光の光量分布 (NFP) を示すグラフである。

【図 15】本発明の第 2 実施形態における光出射部の一部を示す縦断面図である。

【図 16】本発明の第 2 実施形態において、出射面を有する部分の光出射部の横端面図を示している。

【発明を実施するための形態】

30

【0021】

図 1 に示すように、本発明の第 1 実施形態の光源装置 10 は、光源 11 ~ 14 と、集光レンズ 15 ~ 18 と、細径光ファイバ 20 ~ 23 と、ファイバ接続部 27 と、大口径光ファイバ 28 と、スペックル低減部 30 と、光出射部 31 とを備えている。細径光ファイバ 20 ~ 23 は、フェルール等によりバンドル化されたバンドルファイバ 32 とされる。このバンドルファイバ 32 と大口径光ファイバ 28 により、光源 11 ~ 14 が発した光を光出射部 31 まで導光するライドガイド 33 が構成される。

【0022】

光源 11, 12 と集光レンズ 15, 16 とは、それぞれの光軸 L_1, L_2 が細径光ファイバ 20, 21 の光軸 X_1, X_2 と一致するように、設けられている。したがって、光源 11, 12 から発せられる光は、集光レンズ 15, 16 を介して、入射角度 0° で細径光ファイバ 20, 21 に入射する。なお、細径光ファイバ 20, 21 (受光角 θ) に対する入射角度は 0° に限らず、 0° 以上 $\theta/2$ 以下の角度であればよい。

40

【0023】

光源 13, 14 と集光レンズ 17, 18 とは、それぞれの光軸 L_3, L_4 が細径光ファイバ 22, 23 の光軸 X_3, X_4 に対して 12° 傾くようにして、設けられている。したがって、光源 13, 14 から発せられる光は、集光レンズ 17, 18 を介して、入射角度 12° で細径光ファイバ 22, 23 に入射する。なお、細径光ファイバ 22, 23 (受光角 θ) に対する入射角度は 12° に限らず、 $\theta/2$ 以上 θ 以下の角度であればよい。なお、細径光ファイバの NA (Numerical Aperture) が 0.22 であるときは、 θ は 12.7° 。

50

である。

【 0 0 2 4 】

細径光ファイバ 2 0 ~ 2 3 及び大口径光ファイバ 2 8 は、複数のモードが導波可能なマルチモード光ファイバから構成される。大口径光ファイバ 2 8 の径は細径光ファイバ 2 0 ~ 2 3 の径よりも大きい。具体的には、大口径光ファイバ 2 8 の径は 2 mm 以上 4 0 mm 以下である。細径光ファイバ 2 0 ~ 2 3 の径は 0 . 5 mm 以上 1 . 5 mm 以下であり、より好ましくは 1 mm である。

【 0 0 2 5 】

細径光ファイバ 2 0 , 2 1 は光を入射角度 0 ° で受光しているため、図 2 (A) に示すように、それらの光量分布は、光軸 X 1 , X 2 において光量が最も大きく、光軸 X 1 , X 2 からファイバの径方向に対して離れるごとに光量が減少する略凸状の分布 (ガウス分布) を有する。また、図 2 (B) に示すように、遠視野パターン (F F P (Far Field Pattern)) は、光軸 X 1 , X 2 からファイバの径方向に対して所定距離内に光量が一定値 M 以上のエリア 3 5 を、エリア 3 5 よりも外側に光量が一定値未満のエリア 3 6 を有する。なお、入射角度が 0 ° から 6 ° までの光量分布及び遠視野パターンは、入射角度が 0 ° のときとほぼ同様である。また、細径光ファイバには、出射光の光量分布が異なる 2 以上の光を入射させてもよい。

【 0 0 2 6 】

これに対して、細径光ファイバ 2 2 , 2 3 は入射角度 1 2 ° で光を受光しているため、図 3 (A) に示すように、それらの光量分布は、ファイバ径方向において、周辺部の光量が光軸 X 3 , X 4 を含む中央部の光量よりも大きくなる略凹状の分布 (リング状のモード分布) を有する。また、図 3 (B) に示すように、遠視野パターンは、光軸からファイバ径方向に対して所定距離内に光量が一定値 M 未満のエリア 3 8 を、エリア 3 8 よりも外側に光量が一定値 M 以上のエリア 3 9 を、そして、更にエリア 3 9 の外側には光量が一定値 M 未満のエリア 4 0 を有する。

【 0 0 2 7 】

図 1 に示すように、ファイバ接続部 2 7 は、バンドル化された細径光ファイバ 2 0 ~ 2 3 の出射端面と大口径光ファイバ 2 8 の入射端面とを、保護媒体 (図示省略) 等を介して接続する。各細径光ファイバ 2 0 ~ 2 3 から出射された光は大口径光ファイバ 2 8 に入射する。大口径光ファイバ 2 8 内では、光量分布が略凸状である細径光ファイバ 2 0 , 2 1 の出射光と、光量分布が略凹状である細径光ファイバ 2 2 , 2 3 の出射光とが重ね合わされる。これにより、大口径光ファイバ 2 8 内の光は、図 4 (A) に示すように、光量がファイバ径方向に対して略均一であり、且つ一定値 M 以上であるトップフラットに近い光量分布を有する。また、(B) に示すように、遠視野パターンについても、全エリア 4 2 が一定値 M 以上の光量を有している。

【 0 0 2 8 】

また、図 5 (A) は、入射角度 0 ° で光を入射した細径光ファイバ 2 0 , 2 1 から出射する光の放射パターン (F F P) を示しており、この図から放射パターンは中心部分が周辺部分よりも明るいことが分かる。また、(B) は、入射角度 1 2 ° で光を入射した細径光ファイバ 2 2 , 2 3 から出射する光の放射パターン (F F P) を、(C) はその近視野パターン (Near Field Pattern) を示しており、これら図から放射パターンは周辺部分が中心部分よりも明るいことが分かる。大口径光ファイバ 2 8 には、(A) に示す光と (B) や (C) に示す光とが入射することによって、それら光は大口径光ファイバ 2 8 内で重なり合う。これにより、大口径光ファイバ 2 8 から出射する光の放射パターンは、(D) に示すように光量分布がほぼ均一となる。

【 0 0 2 9 】

以上のように、本発明では、光量分布が略凸状となるように光を細径光ファイバに入射させるとともに、光量分布が略凹状となるように細径光ファイバを入射させる。その上で、光量分布が略凹状の光と、光量分布が略凸状の光とを、大口径光ファイバ内で重ね合わせることににより、光出射部 3 1 から出射する光の光量分布を均一化することができる。

【 0 0 3 0 】

したがって、本発明は、特許文献 1 及び 2 のように、光量分布を均一化するための装置等を設けなくとも光量分布を均一化することができるため、コストを別途必要としない。また、本発明は、特許文献 1 及び 2 のように、光量分布を均一化するための装置を光源装置に加えなくとも光量分布を均一化することができるため、装置全体が大型化することもない。また、バンドルファイバやライトガイド全体を交換する際には、特許文献 1 や 2 のような従来の場合であれば、光量分布均一化のための装置の制御系を再調整する必要があったが、本発明によれば、細径光ファイバに対する入射角度を設定するだけで済むため、従来に比べて交換に時間を要することがない。したがって、ライトガイドを内視鏡の照明用に用いた場合のように、ライトガイドの交換が頻発する用途に対しては本発明は非常に有効である。

10

【 0 0 3 1 】

また、従来では、バンドルファイバのファイバ本数の増加により光量分布を均一化するためには、ファイバ本数が少なくとも数 1 0 0 本以上必要であったが、本発明によれば、わずか 4 本、多くても 1 9 本以下のファイバ本数だけで光量分布を均一化することができる。また、細径光ファイバ 2 0 ~ 2 3 及び大口径光ファイバ 2 8 の N A が 0 . 2 以上であることにより、ファイバ径方向における周辺部の光量を更に増加させることができる。したがって、大口径光ファイバ 2 8 に入射する光のうちファイバ径方向における周辺部の光量が不足している場合であっても、周辺部の光量を更に増加させた略凹状の光を重ね合わせることで、光量分布の均一化を図ることができる。

20

【 0 0 3 2 】

また、細径光ファイバの径と大口径光ファイバの径とは異なるが、細径光ファイバから出射される光の放射パターン、例えばリング状は、大口径光ファイバにおいても、サイズ及び形状を変えること無くそのまま維持されている。また、従来では、光ファイバの径は 1 0 m m 以上なければ光量分布を均一化することは困難であったが、本発明によれば、細径光ファイバの径が 1 m m 以下であったとしても、光量分布を均一化することができる。

【 0 0 3 3 】

図 1 に示すように、スペckル低減部 3 0 では、数回巻き取った状態の大口径光ファイバ 2 8 に振動を加えることにより、スペckルノイズを低減させて更に光量分布を均一化する。これにより、光量分布が更に均一化された光が光出射部 3 1 から出射するため、スペckルの発生を抑えることができる。

30

【 0 0 3 4 】

図 6 に示すように、光出射部 3 1 は、大口径光ファイバ 2 8 を円筒状のハウジング部 4 1 の保持孔 4 1 a 内に保持した状態で、出射面 2 8 a からスペckル低減部 3 0 を経た光を出射する。ハウジング部 4 1 内における大口径光ファイバ 2 8 は、光軸方向 X A に対して径が同じであるファイバ本体部 4 3 と、出射面 2 8 a に向かって径が徐々に小さくなるテーパ部 4 4 を備えている。ファイバ本体部 4 3 は、コア 4 3 a 及びそのコア 4 3 a の外周面上に一定厚みで設けられるファイバ 4 3 b からなる。テーパ部 4 4 は、テーパコア 4 4 a 及びそのテーパコア 4 4 a の外周面上に一定厚みで設けられるテーパテーパクラッド 4 4 b からなる。なお、ハウジング部はガラスなどで形成することが好ましい。

40

【 0 0 3 5 】

ファイバ本体部 4 3 内の光は、クラッド 4 3 b で反射しながら、コア 4 3 a 内を伝搬する。これに対して、テーパ部 4 4 では、テーパクラッド 4 4 b に対する光の入射角が小さくなるため、テーパ部 4 4 内の光の一部は、テーパクラッド 4 4 b で反射せず、そのままテーパクラッド 4 4 b へと漏れ出す。テーパクラッド 4 4 b へ漏れ出した光は、ファイバ接着部材 4 0 で反射しながら、テーパコア 4 4 a 内を伝搬する。

【 0 0 3 6 】

ここで、図 7 (A) が示すように、ファイバ本体部 4 3 におけるコア径 R 1 は、2 2 5 μ m 以上 2 3 5 μ m 以下であり、より好ましくは 2 3 0 μ m である。また、(B) が示すように、出射面 2 8 a におけるコア径 R 2 は、8 5 μ m 以上 1 0 0 μ m 以下であり、より好

50

ましく $93\ \mu\text{m}$ である。したがって、テーパ部 44 のテーパ率（コア径 R_2 / コア径 R_1 ）は 0.36 以上 0.44 以下である。なお、大口径光ファイバ 28 のクラッド径は $105\ \mu\text{m}$ 以上 $255\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【0037】

図 6 に示すように、ファイバ接着部材 40 は光透過性を有する接着剤から構成され、紫外線により硬化する。ファイバ接着部材 40 は、出射面 28a から一定深さでテーパクラッド 44b の外周面の全部が露呈するように、大口径光ファイバ 28 を保持孔 41a 内に接着する。ファイバ接着部材 40 の屈折率は大口径光ファイバのクラッド 43b, 44b の屈折率より低く、具体的には大口径光ファイバのクラッド 43b, 44b 屈折率は 1.43 以上 1.44 以下であり、ファイバ接着部材 40 の屈折率は 1.40 以上 1.41 以下であることが好ましい。

10

【0038】

光放出空間部 48 は、出射面 28a から一定深さで露呈したテーパクラッド 44b の外周面（以下「露呈部」という）とハウジング部 41 の内周面との間に設けられた略円筒状の空間からなる。この光放出空間部 48 において、テーパクラッド 44b の露呈部はエアと直接的に接している。テーパコア 44a 内の光は、そのまま出射面 28a から出射する他、テーパクラッド 44b の露呈部へと漏れ出す。テーパクラッド 44b の露呈部に漏れ出した光は、そのまま光放出空間部 48 へと放出する。

【0039】

以上のように、光出射部 31 から出射する光には、出射面 28a から出射する光に加えて、テーパクラッド 44b の露呈部から漏れ出す光も含まれているため、出射光の広がり角及び NA (Numerical Aperture) は、テーパ部 44 を設けない場合よりも、大きくなる。このテーパ部 44 により、出射光のビーム径は拡張される。更に、光出射部 31 から出射する光には、前述の 2 パターンの光に加えて、テーパ先端部 45 から光放出空間部 48 へと放出される光が含まれているため、出射光の広がり角及び NA は、光放出空間部 48 及びテーパ部 44 の両方無しの場合及び光放出空間部 48 無しでテーパ部 44 のみ設けた場合よりも、更に大きくなる。これら光放出空間部 48 及びテーパ部 44 により、出射光のビーム径は更に拡張される。

20

【0040】

また、光放出空間部 48 が存在することで、出射光の広がり角及び NA は、コア 43a, 44a 及びクラッド 43b, 44b の材質や屈折率による制限を受けにくいため、自由度を有する。また、テーパ部 44 のテーパ率を調整したり、光軸 XA 方向への光放出空間部の深さを調整することによって、テーパクラッド 44b の露呈部から漏れ出す光の屈折率を調整することができる。これにより、出射光の広がり角及び NA を自由に調整することができる。

30

【0041】

以下、光放出空間部 48 及びテーパ部 44 無しのときの広がり角及び NA の具体的な数値と、光放出空間部 48 又はテーパ部 44 有りのときの広がり角及び NA の具体的な数値とを示すことにより、広がり角及び NA がどの程度拡大するかを説明する。光放出空間部 48 及びテーパ部 44 無しのときの開口数 NA_1 は、コアの屈折率 N_a 及びクラッドの屈折率 N_b に基づいて、以下の [数 1] により求められる。

40

【数 1】

$$NA_1 = \sqrt{N_a^2 - N_b^2}$$

【0042】

例えば、コアの屈折率 N_a が 1.452 、クラッドの屈折率 N_b が 1.436 である場合、光放出空間部 48 及びテーパ部 44 無しのときの開口数 NA_1 は、最大で 0.22 (最大開口数) であり、広がり角は最大で 24.2 度 (最大広がり角) である。ここで、大

50

口径光ファイバ 28 のファイバ本体部 43 におけるコア径を $230\text{ }\mu\text{m}$ とし、クラッド径を $250\text{ }\mu\text{m}$ とした場合、テーパ部 44 及び光放出空間部 48 無し のとき (テーパ率 1.0) の広がり角は、最大広がり角以下の 16 (deg) であり、NA は、最大開口数以下の 0.14 である。

【0043】

一方、テーパ部のみの開口数 NA2 は、コアの屈折率 N_a 及びファイバ接着部材の屈折率 N_c に基づいて、以下の [数 2] により求められる。

【数 2】

$$NA2 = \sqrt{N_a^2 - N_c^2}$$

10

【0044】

例えば、前述と同様にコアの屈折率 N_a を 1.452 とし、ファイバ接着部材の屈折率 N_c を 1.407 とした場合、テーパ部のみの開口数 NA2 は最大で 0.36 (最大開口数) であり、広がり角は最大で 42.2 度 (最大広がり角) である。この値は、テーパ部 44 内の光の全てがコアからクラッドに漏れ出したときの広がり角とされる。ここで、コア径が $230\text{ }\mu\text{m}$ 、クラッド径が $250\text{ }\mu\text{m}$ であるファイバ本体部 43 に対して、テーパ部 44 (出射面 28a におけるコア径 $93\text{ }\mu\text{m}$ 、テーパ率 0.372) を設けた場合、広がり角は最大広がり角以下の 37.6 (deg) であり、NA は最大開口数以下の 0.32 である。したがって、テーパ部 44 を設けることで、出射光の広がり角及び NA を拡大することができる。

20

【0045】

さらに、本発明では、コア径が $230\text{ }\mu\text{m}$ 、クラッド径が $250\text{ }\mu\text{m}$ であるファイバ本体部 43 に対して、光放出空間部 48 及びテーパ部 44 (出射面 28a におけるコア径 $93\text{ }\mu\text{m}$ 、テーパ率 0.372) の両方を設けた場合、広がり角は 47.0 であり、NA は 0.40 である。したがって、テーパ部 44 に加えて、光放出空間部 48 を設けることにより、出射光の広がり角及び NA を更に拡大することができる。

【0046】

光放出空間部 48 は、以下のようにして形成される。まず、大口径光ファイバ 28 をハウジング部 41 の保持孔 41a に挿入する。そして、出射面 28a とハウジング部 41 の端面とが同一面になるように、大口径光ファイバ 28 の周面とハウジング部 41 の内周面との間に、ファイバ接着部材 40 を充填して接着する。そして、接着剤吸収性を有するレーザを、出射面 28a 側からファイバ接着部材 40 の端面全体に照射し、出射面 28a から一定深さでファイバ接着部材 40 を除去する (アブレーション)。これにより、出射面 28a から一定深さでテーパクラッド 44b の外周面の全部が露呈し、その露呈したテーパクラッド 44b の外周面とハウジング部 41 の内周面との間に、略円筒状の光放出空間部 48 が形成される。

30

【0047】

なお、レーザは、出力が 300 mW であり、波長が 405 nm の光を 4 本合波させたもの (合計出力 1.2 W) を使用することが好ましい。また、ファイバ接着部材の除去に要した時間は約 5 分であることが好ましい。また、使用するレーザとしては、 100 mW 程度の低いパワーを有するレーザをファイバ接着部材に対して長時間照射し、ファイバ接着部材を変質させてもよい。この場合は、レーザ照射後に変質したファイバ接着部材をアセトン等の溶剤で除去することができる。また、光出射部のような光コネクタの端面は非常に壊れやすいため、接着剤の除去などのプロセス処理は端面研磨後には通常行われませんが、本実施形態によれば、レーザによる非接触で端面を加工するプロセス処理を採用したため、プロセス処理を端面研磨後に行っても、端面を損傷することがない。

40

【0048】

図 5 に示すように、内視鏡システム 50 は、被検者の体腔内を照明する照明光を生成す

50

る照明光生成手段として上記本発明の光源装置 10 を用い、照明光により照明された被検者の体腔内を内視鏡 51 により撮像し、この撮像により得た画像をプロセッサ装置 52 で各種処理を施す。各種処理が施された画像は、モニタ 53 に表示される。

【0049】

図 6 に示すように、内視鏡 51 は、体腔内に挿入される可撓性の挿入部 55 と、挿入部 55 の基端部分に連設され、施術者が手元で操作を行う手元操作部 56 と、光源装置 10 及びプロセッサ装置 52 のソケット 10a, 52a に取り付けられるユニバーサルコネクタ 57 と手元操作部 56 とを接続するユニバーサルコード 58 とを備えている。挿入部 55 の先端には、照明光学系 60、対物光学系 61、プリズム 62、撮像素子 63 が設けられている。

10

【0050】

光源装置の光源 11 ~ 14、集光レンズ 15 ~ 18、細径光ファイバ 20 ~ 23、ファイバ接続部 27、及びスペックル低減部 30 はケーシング 67 内に設けられており、大口径光ファイバ 28 の一部はケーシング 67 内に、その他の部分はユニバーサルコード 58 及び挿入部 55 内に設けられている。

【0051】

細径光ファイバ 20, 21 には、光源 11, 12 からの光が集光レンズ 15, 16 を介して入射角度 0° で入射する。細径光ファイバ 20, 21 に入った光は、図 2 (A) に示す略凸状の光量分布と図 2 (B) に示す遠視野パターンを有する。また、細径光ファイバ 22, 23 には、光源 13, 14 からの光が集光レンズ 17, 18 を介して入射角度 12° で入射する。細径光ファイバ 22, 23 に入った光は、図 3 (A) に示す略凹状の光量分布と図 3 (B) に示す遠視野パターンを有する。

20

【0052】

細径光ファイバ 20, 21 からの光と、細径光ファイバ 22, 23 からの光は、ファイバ接続部 27 で大口径光ファイバ 28 に向けて出射する。大口径光ファイバ 28 内の光は、図 4 (A) に示すように、光量がファイバ径方向に対して略均一であり、且つ一定値 M 以上である光量分布を有するとともに、図 4 (B) に示すように、全エリア 42 が一定値 M 以上の光量である遠視野パターンを有する。大口径光ファイバ 28 内の光は、スペックル低減部 30 で光量分布が更に均一化された後、光出射部 31 へと送られる。

【0053】

光出射部 31 は、照明光学系 60 を介して、大口径光ファイバ 28 内の光を体腔内部に向けて照射する。体腔内部には光量分布が均一な光が照射されるため、体腔内に光反射率が高い領域があったり、また体腔内部に凹凸差が激しい領域があったりしても、内視鏡で得られる画像は鮮明である。したがって、得られた画像から体腔内部にある病変部を容易に発見することができる。

30

【0054】

また、光出射部 31 は光放出空間部 48 及びテーパ部 44 を有しているため、光出射部 31 から出射される光の広がり角及び NA は、それら光放出空間部 48 及びテーパ部 44 が無い場合よりも大きい。したがって、体腔内部に対して広範囲に光が照射されるため、撮像素子 63 の撮像範囲のほぼ全域が照明される。したがって、内視鏡 51 で得られる画像から病変部を容易に発見することができる。

40

【0055】

対物光学系 61 は、体腔内部で反射した光を受光する。プリズム 62 は対物光学系 61 で受光した光を屈曲させる。プリズム 62 で屈曲した光は、撮像素子 63 の撮像面で結像する。これにより、体腔内部の画像信号が得られる。撮像素子 63 で得られた画像信号は、挿入部 55 及びユニバーサルコード 58 内の信号ライン 70 を介して、プロセッサ装置 52 に送られる。プロセッサ装置 52 は、信号ライン 70 から送られてきた画像信号に対して各種処理を施す。モニタ 53 は、各種処理が施された画像信号に基づいて、体腔内部の画像を表示する。

【0056】

50

図 7 に示すように、本発明の第 2 実施形態の光源装置 80 は、細径光ファイバ 82, 83 (受光角 θ) 以外は上記第 1 実施形態と同様の構成を有している。光源 13, 14 と集光レンズ 17, 18 とは、それぞれの光軸 L_3, L_4 が細径光ファイバ 82, 83 の光軸 X_3, X_4 と一致するように、設けられている。また、細径光ファイバの入射端面 82a, 83a は、光軸 X_3, X_4 に直交する面に対して角度 12° で傾くように、研磨されている。なお、細径光ファイバ (受光角 θ) の入射端面 82a, 83a の角度は 12° に限らず、 $\theta/2$ 以上 θ 以下の範囲であればよい。また、細径光ファイバ 20, 21 (受光角 θ) の入射端面にも、光軸 X_1, X_2 に直交する面に対して角度 0° 以上 $\theta/2$ 以下の範囲で傾くように研磨してもよい。

【0057】

細径光ファイバ 82, 83 は、細径光ファイバ 20, 21 と同様にマルチモード光ファイバで構成されている。したがって、角度 12° だけ傾いた入射端面 82a, 83a に、光源 13, 14 からの光が集光レンズ 17, 18 を介して入射することによって、細径光ファイバ 82, 83 内の光は、図 3 (A) に示す略凹状の光量分布と図 3 (B) に示す遠視野パターンを有する。

【0058】

細径光ファイバ 82, 83 の出射光は、細径光ファイバ 20, 21 の出射光と同様に、ファイバ接続部 27 で大口径光ファイバ 28 に入射する。大口径光ファイバ 28 内では、細径光ファイバ 20, 21, 82, 83 からの光が重ね合わされて均一化される。これにより、図 4 (A) に示すように、光量がファイバ径方向に対して略均一であり、且つ一定値 M 以上である光量分布を有するとともに、図 4 (B) に示すように、全エリア 42 が一定値 M 以上の光量である遠視野パターンを有する。大口径光ファイバ 28 内の光は、スペckル低減部 30 で光量分布が更に均一化される。

【0059】

図 8 に示すように、本発明の第 3 実施形態の光源装置 90 においては、細径光ファイバ 22 の入射角度は θ_a を 0° 以上 12° 以下の範囲で可変とする以外は、上記第 1 実施形態と同様の構成を有している。

【0060】

ここで、細径光ファイバの入射角度 θ_a を変化させることによって、細径光ファイバ 22 の出射光の光量分布がどのように変化するかの一例を、図 9 ~ 図 12 に示す。図 9 ~ 図 12 は、細径光ファイバ 22 のコア径を $230\mu\text{m}$ 、クラッド径を $250\mu\text{m}$ 、 NA を 0.23 としたときに、細径光ファイバ 22 から出射する光の出力モードパターン (NFP) を示しており、図 9 は、 θ_a が 6° のときのパターンを、図 10 は θ_a が 8° のときのパターンを、図 11 は θ_a が 10° のときのパターンを、図 12 は θ_a が 12° のときのパターンを示している。なお、図 9 ~ 図 12 において、横軸を示す「ファイバ径方向」の「0」は細径光ファイバ 22 の光軸を示している。また、放射パターンをリング状とする場合には、光ファイバの NA を上限値付近にすることが好ましい。

【0061】

これら図 9 ~ 図 12 に示すように、ファイバ径方向における周辺部の光量は、 θ_a が 8° 付近から θ_a が大きくなるごとに、増えることが分かる。また、 θ_a を大きく又は小さく変化させることによって、細径光ファイバ 22 の出射端面上の放射パターンの形状が、リング形状、楕円などに変化することが分かっている。特に、 θ_a が 12° の場合には、 NA が光ファイバの上限値 (0.22) となり、放射パターンの周辺部におけるモード突起は顕著になる。そのため、 θ_a が 12° のときの細径光ファイバ 22 の出射端面上の放射パターンの形状はリング状となり、 θ_a が 12° 未満のときの放射パターンと大きく異なることが分かっている。なお、 θ_a が 0° から 6° までの細径光ファイバ 22 の出射光の光量分布は、 θ_a が 6° の場合とほぼ同様のパターン (図 9 参照) を示す。

【0062】

以上のように入射角度 θ_a で光を入射する細径光ファイバ 22 の出射光は、ファイバ接続部 27 において、入射角度 0° で光を入射する細径光ファイバ 20, 21 の出射光及び

10

20

30

40

50

入射角度 12° で光を入射する細径光ファイバ 23 の出射光とともに、大口径光ファイバ 28 に入射する。大口径光ファイバ 28 内では、細径光ファイバ 20 ~ 23 からの出射光とが重なり合うことで光量がファイバ径方向に対して均一になる。

【0063】

また、細径光ファイバ 22 の入射角度 θ_a と細径光ファイバ 23 の入射角度 12° とが異なっている場合、大口径光ファイバ 28 には、放射パターン サイズや形状が異なる光が入射する。これら光が大口径光ファイバ 28 内で重なり合うことによって、光出射部 31 から出射される光の放射パターンは、光量分布の均一性を失わない範囲のパターンであるとともに、サイズや形が異なる複数の形状が組み合わさったパターンとなる。したがって、細径光ファイバ 22 の入射角度 θ_a を調整することによって、所望のパターンの光を照明対象に当てることができる。また、細径光ファイバ 20, 21 の入射光は集光レンズにより光軸 X_1 , X_2 近傍に集光するため、ファイバ径方向における周辺部の光量は不足するが、細径光ファイバ 22 の入射角度 θ_a を調整することによって、光量分布の均一性を失わない範囲において、周辺部の光量を増加させることができる。

10

【0064】

なお、上記実施形態では、バンドル化した細径光ファイバと大口径光ファイバとを接続し、大口径光ファイバから光を出射させたが、バンドル化した細径光ファイバを大口径光ファイバに接続せず、細径光ファイバからそのまま光を出射させてもよい。この場合にも、細径光ファイバに光出射部 31 と同様の光出射部を設け、即ち、細径光ファイバの出射側にテーパコア及びテーパクラッドからなるテーパ部を設け、細径光ファイバの出射面から一定深さで、外周面の全部又は一部を露呈したテーパクラッドから漏れる光を放出させる光放出空間部を設ける。したがって、細径光ファイバから出射される光の広がり角及び NA は、テーパ部 44 及び光放出空間部 48 により拡大する。

20

【0065】

上記実施形態のように、細径光ファイバから出射する光を、大口径光ファイバに入射させず、そのまま放出させる場合には、以下のようにして形成される 2 周のバンドルファイバを用いることが好ましい。2 周のバンドルファイバは、まず、中心となる 1 本の細径光ファイバの周囲を保護チューブで覆い、その周囲に複数本の細径光ファイバを配置して保護チューブで覆う。そして、その複数本の細径光ファイバを覆う保護チューブの周囲に、更に複数本の細径光ファイバを配置して保護チューブで覆う。これにより、2 周のバンドルファイバが形成される。なお、バンドルファイバは 2 周に限らず、3 周以上あってもよい。

30

【0066】

また、上記実施形態では、出射面 28a から一定深さでテーパクラッド 44b の外周面の全部を露呈させることにより、光放出空間部 48 を形成したが。図 15 及び図 16 に示すように、テーパクラッド 44b の外周面の全部ではなく一部だけを露呈させることによって、光放出空間部 100 を形成してもよい。

【0067】

光放出空間部 100 は、図 15 及び図 16 に示すように、出射面 28a から一定深さで露呈したテーパクラッド 44b の外周面の一部とハウジング部 41 の内周面と間に形成されている。光放出空間部 100 は、大口径光ファイバの出射面 28a を XY の二次元平面上で見たときに、Y 軸に対してテーパクラッド 44b よりも上方に設けられる第 1 空間部 100a、Y 軸に対してテーパクラッド 44b よりも下方に設けられる第 2 空間部 100b とからなる。なお、空間部を設ける位置はこれに限らず、X 軸方向に対してテーパクラッドの左右両方に空間部を設けてもよい。また、空間部の形成方法は、ファイバ接着部材の一部をレーザ照射により除去する（アブレーション）以外は第 1 実施形態と同様であるので、説明を省略する。

40

【0068】

以上のように第 1 及び第 2 空間部 100a, 100b を設けることにより、Y 軸方向の出射光には、第 1 及び第 2 空間部 100a, 100b へと放出される光が含まれるのに対し

50

て、X軸方向の出射光には、第1及び第2空間部100a, 100bに放出される光が含まれない。したがって、図15に示すように、Y軸方向の広がり角 θ_y は、X軸方向の広がり角 θ_x よりも大きくなるため、光出射部31から出射する光の放射パターンは楕円状となる。なお、 θ_x と θ_y が同じ場合には、出射光の放射パターンは円状であるが、 θ_x と θ_y が異なることで、出射光の放射パターンは円状から楕円状に変化する。また、空間部を設ける位置を適宜変更することによって、 θ_x と θ_y を調整し、出射光の放射パターンを円状から楕円状又はその逆に変化させてもよい。

【符号の説明】

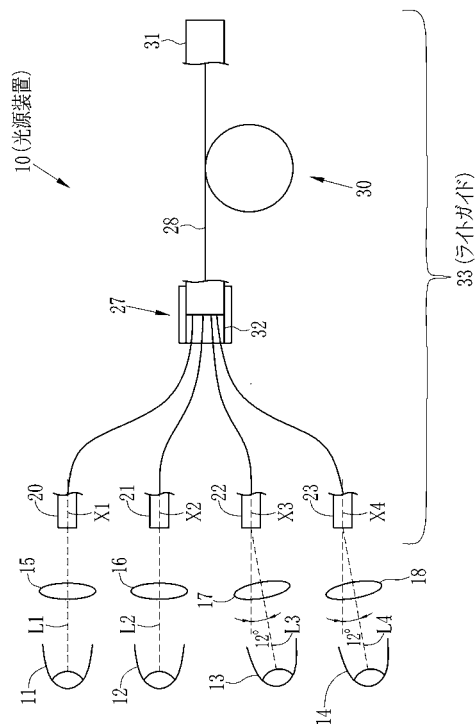
【0069】

- 10, 80, 90 光源装置
 11～14 光源
 20～23, 82, 83 細径光ファイバ
 28 大口径光ファイバ
 31 光出射部
 33 ライトガイド
 40 ファイバ接着部材
 41 ハウジング部
 44 テーパ部
 44a テーパコア
 44b テーパクラッド
 48, 100 光放出空間部
 50 内視鏡システム
 51 内視鏡
 100a 第1空間部
 100b 第2空間部

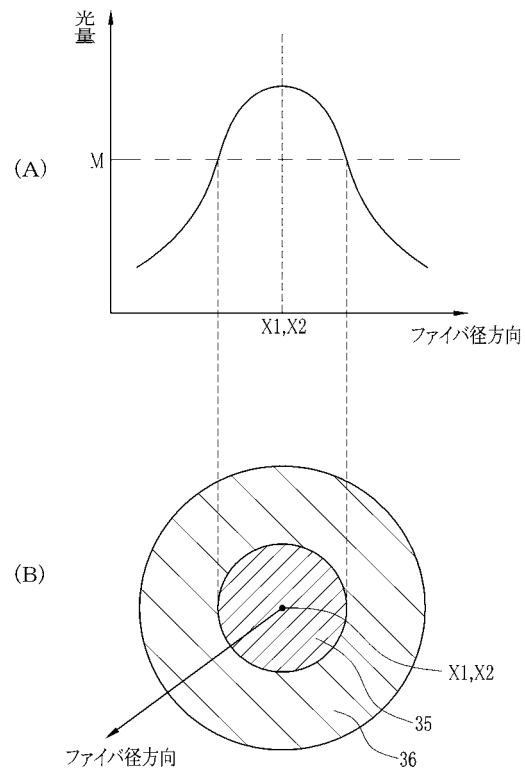
10

20

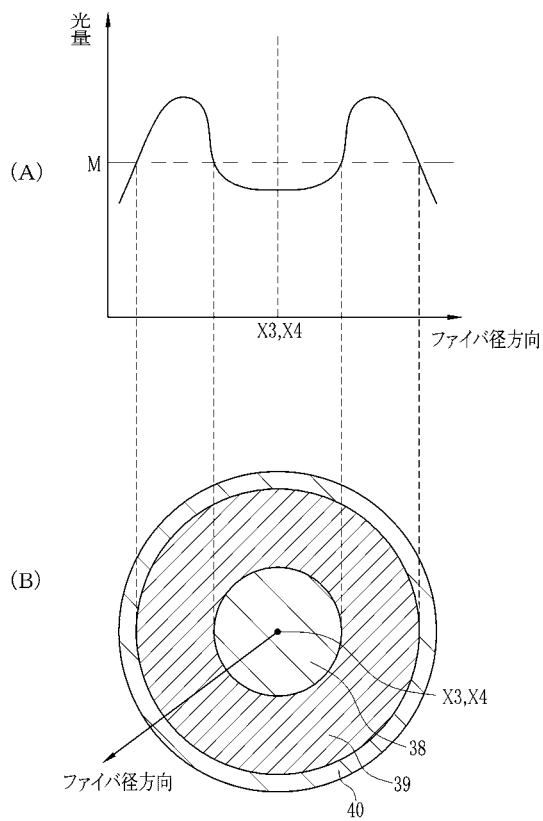
【図1】



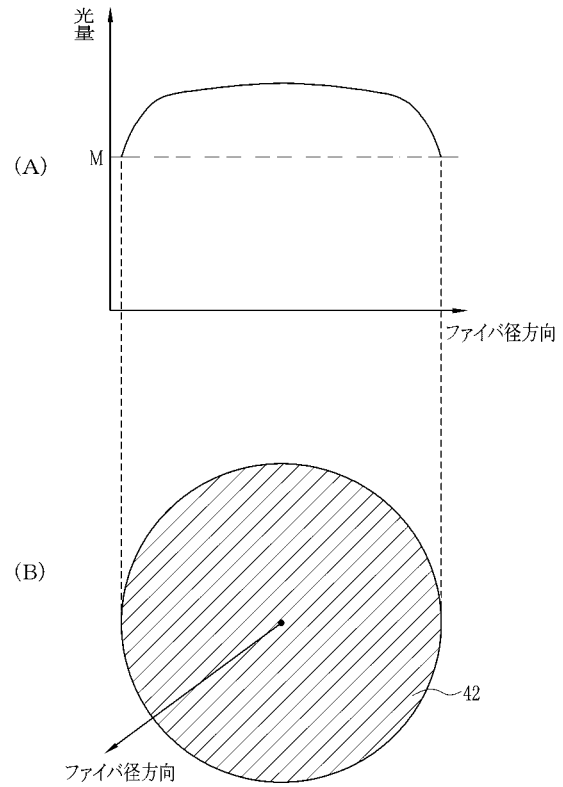
【図2】



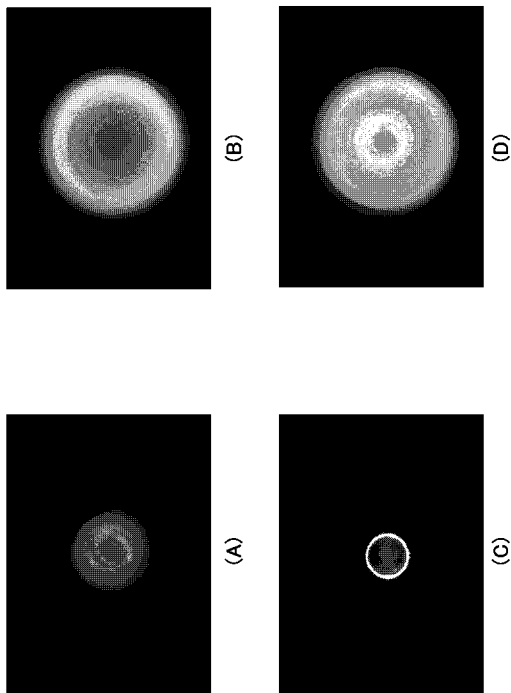
【図 3】



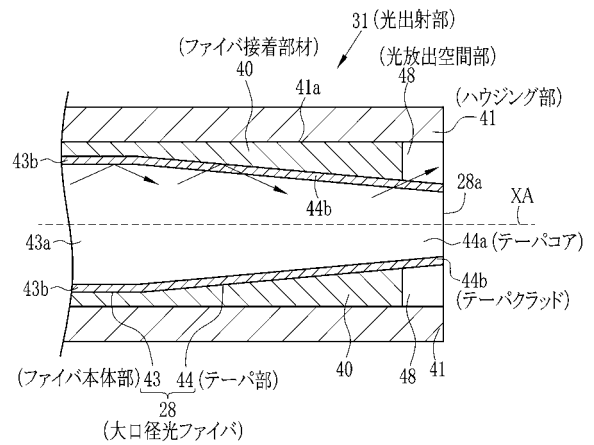
【図 4】



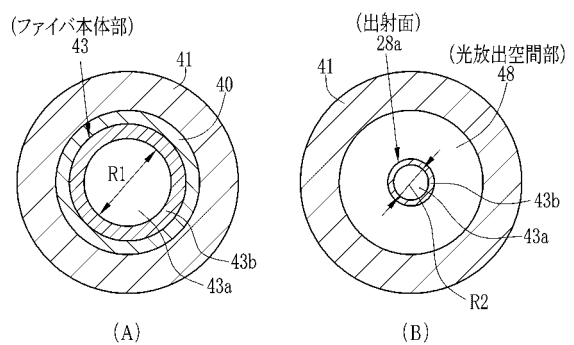
【図 5】



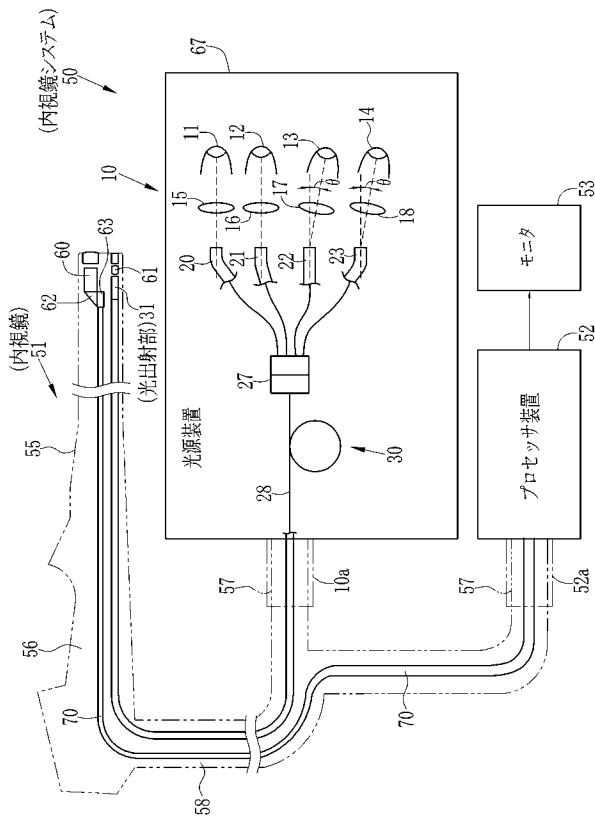
【図 6】



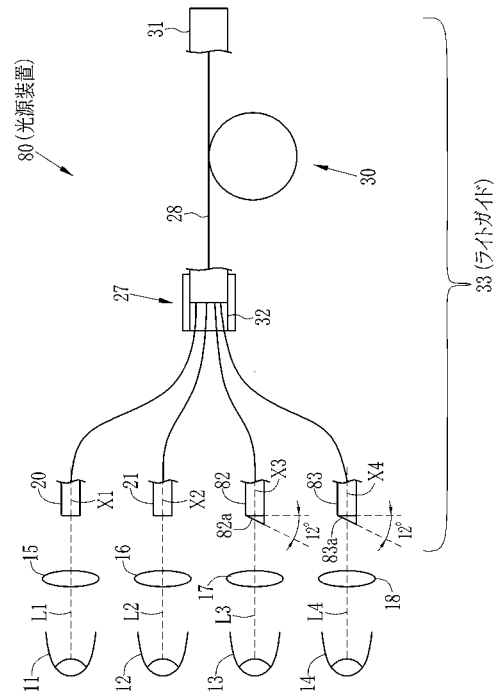
【図 7】



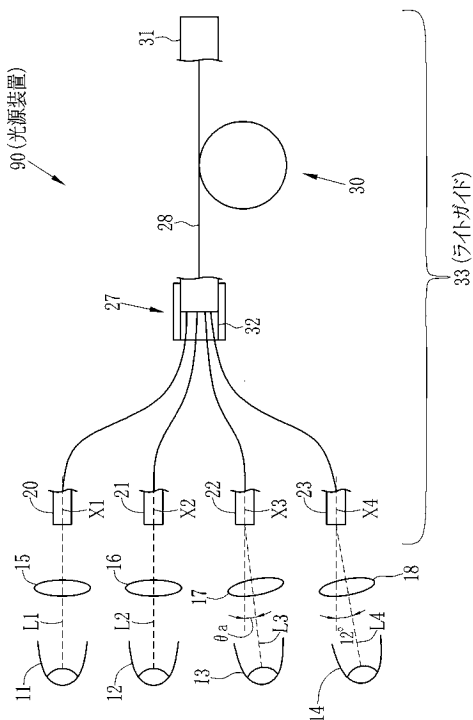
【図 8】



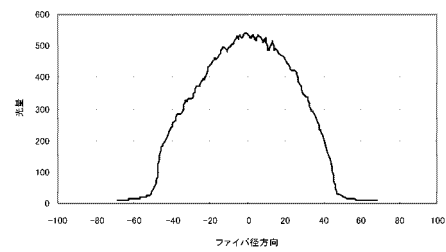
【図 9】



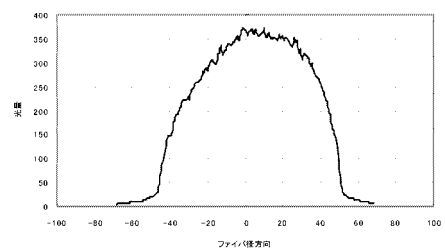
【図 10】



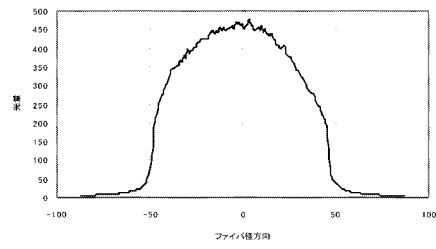
【図 11】



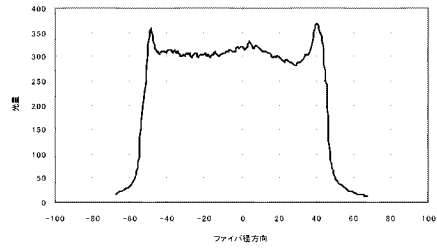
【図 12】



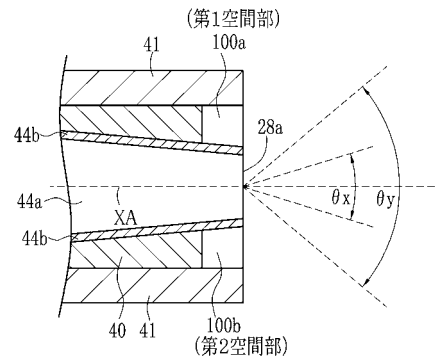
【図 1 3】



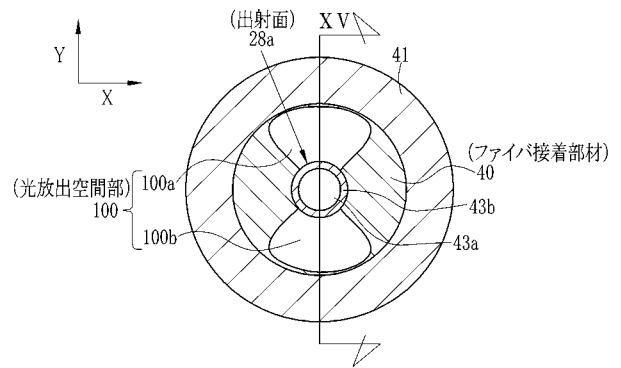
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



专利名称(译)	光导和光源装置和内窥镜系统		
公开(公告)号	JP2010190934A	公开(公告)日	2010-09-02
申请号	JP2009032307	申请日	2009-02-16
[标]申请(专利权)人(译)	富士胶片株式会社		
申请(专利权)人(译)	富士胶片株式会社		
[标]发明人	下津臣一		
发明人	下津 臣一		
IPC分类号	G02B6/06 H04N7/18 A61B1/06 G02B6/26		
CPC分类号	G02B6/04 G02B23/2469		
FI分类号	G02B6/06.B H04N7/18.M A61B1/06.A G02B6/26 A61B1/07.730 A61B1/07.732 G02B6/00.331 G02B6/02.411 G02B6/02.421 G02B6/04.A G02B6/04.B G02B6/28.M G02B6/42		
F-TERM分类号	2H046/AA01 2H046/AA32 2H046/AB08 2H046/AD01 2H137/AA08 2H137/AB06 2H137/BA04 2H137/BA15 2H137/BA21 2H137/BB09 2H137/BC02 2H137/HA13 4C061/BB02 4C061/CC04 4C061/DD03 4C061/FF40 4C061/NN01 4C061/RR02 5C054/CC07 5C054/CF01 5C054/HA12 2H038/AA52 2H038/AA54 2H038/BA45 2H150/AC04 2H150/AC12 2H150/AC37 2H150/AD02 2H150/AD12 2H150/AD16 2H150/AD27 2H150/AD34 2H150/AH42 4C161/BB02 4C161/CC04 4C161/DD03 4C161/FF40 4C161/NN01 4C161/RR02		
代理人(译)	小林和典		
其他公开文献	JP5258613B2		

摘要(译)

要解决的问题：使出射光的光量分布均匀，不增加整个设备的尺寸，或者不产生单独的成本。ŽSOLUTION：当光以0°的入射角进入小直径光纤20,21时，出射光在光纤直径方向上具有基本凸起的光量分布。当光以12°的入射角进入小直径光纤22,23时，出射光在光纤直径方向上具有基本上凹入的光量分布。来自小直径光纤20-23的出射光进入大直径光纤28.在大直径光纤28中，具有基本上凸出的光量分布的光叠加在具有基本上凹入的光量分布的光上，使得大直径光纤28中的光在光纤直径方向上具有基本均匀的光量分布。光出射部分31具有锥形芯和在光出射表面中的锥形包层。大直径光纤28中的光从其光出射表面输出，并且还从锥形包层泄漏。Ž

