

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4080517号

(P4080517)

(45) 発行日 平成20年4月23日(2008.4.23)

(24) 登録日 平成20年2月15日(2008.2.15)

(51) Int.Cl.

G 0 2 B 6/32 (2006.01)

F I

G 0 2 B 6/32

請求項の数 6 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2006-519029 (P2006-519029)	(73) 特許権者	000222222
(86) (22) 出願日	平成17年4月5日(2005.4.5)		東洋ガラス株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2005/006638		東京都千代田区内幸町1丁目3番1号
(87) 国際公開番号	W02006/109348	(74) 代理人	100088823
(87) 国際公開日	平成18年10月19日(2006.10.19)		弁理士 神戸 真
審査請求日	平成19年2月28日(2007.2.28)	(74) 代理人	100118348
早期審査対象出願			弁理士 川端 佳代子
		(72) 発明者	松村 宏善
			埼玉県日高市武蔵台1丁目38-9
		(72) 発明者	鈴木 太郎
			神奈川県川崎市川崎区夜光3-2-3 東
			洋ガラス株式会社技術開発部内
		(72) 発明者	阿知波 徹
			神奈川県川崎市川崎区夜光3-2-3 東
			洋ガラス株式会社技術開発部内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバコリメータ系及び光ファイバコリメータアレイ系の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

屈折率調整物質として Sb_2O_3 、 Ta_2O_5 、 TiO_2 又は ZrO_2 から選択される1種以上を含有する石英ガラスでなるGRINレンズ(Graded Indexレンズ)の一端に光ファイバを融着したGRINレンズ付き光ファイバ1対を、そのGRINレンズ端面を対向させて一体化すると共に、前記GRINレンズ端面間に光学要素を設けた光ファイバコリメータ系の製造法であって、

複数の光ファイバコリメータ系を試作するステップと、

試作した複数の光ファイバコリメータ系の1対のGRINレンズの水平方向位置ずれ量と傾斜角度を測定するステップと、

目標歩留まり及び目標結合損失を設定するステップと、

前記水平方向位置ずれ量及び前記傾斜角度を前記目標歩留まりに照らして許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度を求めるステップと、

前記許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度からGRINレンズの開口数を求めるステップと、

前記求めた開口数以上の開口数を有するGRINレンズを用いて光ファイバコリメータ系を製造するステップを有することを特徴とする光ファイバコリメータ系の製造方法。

【請求項2】

屈折率調整物質として Ta_2O_5 又は TiO_2 から選択される1種以上を含有する石英ガラスでなるGRINレンズの一端に光ファイバを融着したGRINレンズ付き光ファイバ1対

10

20

を、その G R I N レンズ端面を対向させて一体化すると共に、前記 G R I N レンズ端面間に光学要素を設けた光ファイバコリメータ系の製造法であって、

複数の光ファイバコリメータ系を試作するステップと、

試作した複数の光ファイバコリメータ系の 1 対の G R I N レンズの水平方向位置ずれ量と傾斜角度を測定するステップと、

目標歩留まり及び目標結合損失を設定するステップと、

前記水平方向位置ずれ量及び前記傾斜角度を前記目標歩留まりに照らして許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度を求めるステップと、

前記許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度から G R I N レンズの開口数を求めるステップと、

前記求めた開口数以上の開口数を有する G R I N レンズを用いて光ファイバコリメータ系を製造するステップを有することを特徴とする光ファイバコリメータ系の製造方法。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 の光ファイバコリメータ系の製造方法において、前記 G R I N レンズがゾルゲル法により製造されたものであることを特徴とする光ファイバコリメータ系の製造方法。

【請求項 4】

屈折率調整物質として Sb_2O_3 、 Ta_2O_5 、 TiO_2 又は ZrO_2 から選択される 1 種以上を含有する石英ガラスでなる G R I N レンズ (Graded Index レンズ) の一端に光ファイバを融着した G R I N レンズ付き光ファイバ複数個を、前記 G R I N レンズ部分を並列して一体化した光ファイバコリメータアレイ 1 対を直接又はミラーを介して対向させた光コリメータアレイ系の製造法であって、

複数の光ファイバコリメータアレイ系を試作するステップと、

試作した複数の光ファイバコリメータアレイ系の各対応する G R I N レンズの水平方向位置ずれ量と傾斜角度を測定するステップと、

目標歩留まり及び目標結合損失を設定するステップと、

前記水平方向位置ずれ量及び前記傾斜角度を前記目標歩留まりに照らして許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度を求めるステップと、

前記許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度から G R I N レンズの開口数を求めるステップと、

前記求めた開口数以上の開口数を有する G R I N レンズを用いて光ファイバコリメータアレイ系を製造するステップを有することを特徴とする光ファイバコリメータアレイ系の製造方法。

【請求項 5】

屈折率調整物質として Ta_2O_5 又は TiO_2 から選択される 1 種以上を含有する石英ガラスでなる G R I N レンズの一端に光ファイバを融着した G R I N レンズ付き光ファイバ複数個を、前記 G R I N レンズ部分を並列して一体化した光ファイバコリメータアレイ 1 対を直接又はミラーを介して対向させた光コリメータアレイ系の製造法であって、

複数の光ファイバコリメータアレイ系を試作するステップと、

試作した複数の光ファイバコリメータアレイ系の各対応する G R I N レンズの水平方向位置ずれ量と傾斜角度を測定するステップと、

目標歩留まり及び目標結合損失を設定するステップと、

前記水平方向位置ずれ量及び前記傾斜角度を前記目標歩留まりに照らして許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度を求めるステップと、

前記許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度から G R I N レンズの開口数を求めるステップと、

前記求めた開口数以上の開口数を有する G R I N レンズを用いて光ファイバコリメータアレイ系を製造するステップを有することを特徴とする光ファイバコリメータアレイ系の製造方法。

【請求項 6】

請求項 4 又は 5 の光ファイバコリメータアレイ系の製造方法において、前記 GRIN レンズがゾルゲル法により製造されたものであることを特徴とする光ファイバコリメータアレイ系の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は GRIN レンズ付き光ファイバを任意の光学要素を挟んで対向配置した光ファイバコリメータ系、GRIN レンズ付き光ファイバを複数個並列に位置した光ファイバコリメータアレイ、光ファイバコリメータ系の製造方法、及び光ファイバコリメータアレイを対向配置した光ファイバコリメータアレイ系の製造方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

【従来の技術】

従来より光情報伝達においては、一方の光ファイバからの発散光である出射光をコリメータレンズにより平行光とし、この平行光を伝播させた後、別のコリメータレンズにより集光して他方の光ファイバに入射させることが行われている。このような光学系は「コリメータ系」と称されており、両コリメータレンズ間にフィルタや光アイソレータ用素子、光スイッチ、光変調器等各種の光学要素を挿入することにより、多様な光学モジュールを構築することができる。コリメータレンズとしては、一般的に凸レンズが用いられるが、取り付けの容易性から円柱状の分布屈折率レンズ (Graded Index レンズ、以下「GRIN レンズ」と略す。) が用いられている。この GRIN レンズは、図 1 に示すように、その断面方向 x 、 y の屈折率 n を下記 (1) 式であらわしたとき、円柱状の中心軸の屈折率が最も高く、中心軸から外周方向に離れると連続的に、二次曲線状に屈折率が低くなっているレンズで、この屈折率分布によってレンズ作用が行われる。

20

$$n = n_0 \{ 1 - g^2 r^2 / 2 \} \quad (1)$$

30

ここで、 g は GRIN レンズの集光能力を表わす定数、 n_0 は GRIN レンズの材料の屈折率、 r は半径方向の距離 ($r^2 = x^2 + y^2$) である。

図 1 に示すように、GRIN レンズの半径を a 、半径 a での屈折率を n_a とすれば、

$$g = NA / a n_0 \quad \text{ただし、} \quad NA = (n_0^2 - n_a^2)^{1/2} \quad (2)$$

40

と表わされる。ここで、 NA は GRIN レンズの中心と周辺での屈折率の 2 乗差の平方根で、開口数 Numerical

Aperture (以下、「 NA 」と略す。) と称し、レンズ性能を表わす重要なパラメータである。 NA の高いレンズは光の集光能力が高い、即ちレンズ特性の良いレンズである。コリメータレンズとして用いられる GRIN レンズの長さ (L) は、GRIN レンズ内を伝搬する伝搬光の蛇行周期の $1/4$ の長さ、あるいはその奇数倍の長さに設定される。蛇行周期の $1/4$ の長さを $L_{1/4}$ とすると、

$$L_{1/4} = \pi / (2g) \quad (3)$$

である。ここで、GRINレンズの長さ L は対向するコリメータレンズの間隔が短い場合には、(3)式で示す伝搬光の蛇行周期の $1/4$ の長さ、あるいはその奇数倍の長さに設定されるが、間隔が長くなれば結合損失を向上させるために $L_{1/4}$ より若干長く設定されるのが一般的である。ここでは、説明上コリメータレンズの間隔が短い場合について説明する。

【0003】

図2はGRINレンズ1a, 1bを一对、対向配置させた単芯のコリメータ系を示す斜視図である。各GRINレンズ1a, 1bには、その対向面とは反対側の端面に光軸を一致させて光ファイバ2a, 2bが接続されており、一方の光ファイバ2aからの光をそれに接続するGRINレンズ1aで平行光として出射し、他方のGRINレンズ1bではこの平行光を集光してそれに接続する光ファイバ2bへと導くことにより光信号の伝達が行われる。従って、このようなGRINレンズ1a, 1bを用いたコリメータ系では、結合損失を少なくするために、対向するGRINレンズ1a, 1bどうしの光軸、更にはGRINレンズ1a, 1bと光ファイバ2a, 2bとの光軸を精度良く一致させる必要がある。

【0004】

図3は光ファイバコリメータアレイ1を一对、対向配置させた光ファイバコリメータアレイ系を示す概略斜視説明図である。両光ファイバコリメータアレイ1間には、MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) 式の2自由度の光スイッチアレイ3が2段挿入されている。各光ファイバコリメータアレイ1の各GRINレンズの対向面とは反対側の端面には、光軸を一致させて光ファイバ2a, 2bが接続され、これらの光ファイバの集団で光ファイバアレイ2を構成している。一方の各光ファイバ2aからの光をそれに接続するGRINレンズ1aで平行光として出射し、光スイッチアレイ3の光スイッチ3a, 3bで2回反射し、反射の角度を変えることにより方向を変えた平行光とし、他方の各GRINレンズ1bではこの平行光を集光して、それに接続する光ファイバ2bへと導くことにより光信号の伝達が行われる。光の光路は、2段のMEMS式光スイッチアレイ3を構成する2自由度のマイクロミラー3cの反射角度をそれぞれ適量変えることによって切り替えがなされる。従って、このようなコリメータ系では、結合損失を少なくするために、対向するGRINレンズ1a, 1bどうしの光軸、個々のGRINレンズ1aと光ファイバ2aとの光軸をそれぞれ精度良く一致させる必要がある。

【0005】

ここで、光アイソレータ素子を搭載した単芯のコリメータ系の実用例を図4に示す。1.8mmφのGRINレンズ1aと光ファイバ2aを内蔵した業界標準の0.9mmφの光ファイバ芯線7は、外径が3mmφ、内径が1.8mmと0.9mmに制御された同心円の光ファイバレンズホルダ(メタル)8に相互から挿入して接着固定されている。光ファイバ2aとGRINレンズ1aとの光軸合わせの精度は、光ファイバレンズホルダ8の同心円の内径加工精度によって左右されるので高度な加工精度が要求される。この光ファイバレンズホルダ8を、外形10mmで内径が3mmに制御されたコリメータホルダ(メタル)9に挿入し、その固定用フランジ11でコリメータホルダ9にピン止め固定されている。このように対向配置させた単芯のコリメータ系の光軸合わせは、光ファイバレンズホルダ8の外径・内径及びコリメータホルダ9の内径の加工精度によって左右されるので高度な加工精度が要求される。このように対向配置させた単芯のコリメータ系では、光ファイバ2aから出射した光はGRINレンズ1aで集光されてほぼ平行な光6として出射される。このほぼ平行な光6は他端のGRINレンズ1bで集光され光ファイバ2bに入射し、コリメータ系が機能する。これら一对の対向したコリメータ系の間には、種々の光学要素10、例えば本例のような光アイソ

10

20

30

40

50

レータ部品が挿入固定される。

【 0 0 0 6 】

しかしながら、治具の加工精度や生産技術上の合わせ精度（図4の場合には各種ホルダ8, 9の加工精度、GRINレンズ1a及び光ファイバ芯線の公差精度）の問題で、たとえば図4のようにGRINレンズ1a, 1bを対向配置させる際に、種々の方向への軸ずれが発生するのが一般的である。図2に示すようにGRINレンズ1a, 1b及び光ファイバ2a, 2bに共通する理想的な光軸を符号Cで表し、この光軸Cと平行な方向をZ方向、水平方向に直交する方向をX方向、垂直方向に直交する方向をY方向と規定すると、考えられる対向レンズ間の軸ずれとしては、X方向への変位、X方向における傾斜角 θ_x 、また、Y方向への変位及びY方向における傾斜角 θ_y が生じる。

10

【 0 0 0 7 】

また、図3に示したように、2個の光ファイバコリメータアレイ1, 1の間にMEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) 式の2自由度の光スイッチアレイ3が2段挿入されている光ファイバコリメータアレイ系の場合には、光の光路が2段のMEMS式光スイッチアレイ3を構成する2自由度のマイクロミラー3cの反射角度を適量変えることによって切り替えられるが、光スイッチアレイ内の各々のマイクロミラー3cのミラー角度が光スイッチアレイ内で全て等しくなく若干異なっているため、例え、光ファイバコリメータアレイ1間の調芯が完全になされたとしても、光スイッチアレイ内のミラー角度のずれによって光軸のずれがそのばらつき分生じることになる。このため、MEMS式の光ファイバコリメータアレイ系の場合には、通常、図2に示したGRINレンズ1a, 1bを一对、対向配置させた単芯のコリメータ系の場合に比べ大きな軸ずれが生じるのが一般的である。

20

【 0 0 0 8 】

通常、GRINレンズと光ファイバは接着剤を用いて接続されている。USP4213677に代表される様なこの接着剤を用いて光ファイバとGRINレンズを固定している構造では、接着剤の光吸収により高強度光が入射した場合、温度上昇し接着剤が変質することにより光学特性が劣化する。一般的に光学接着剤は、光通信で使用する波長域での吸収が1~5%程度であり、変質温度は高くても400℃程度である。これらの範囲の物性値であると数Wクラスの光強度には、耐えることができない。また光ファイバとGRINレンズが接着剤を介して接合されているから、この接着剤に空気を巻き込んで生じる気泡や光軸のずれおよび角度ずれ、接続面での反射戻り光の増加など、製品の歩留まりが劣化する要因が多く存在し、高価になるという問題があった。また、各GRINレンズと光ファイバとの光軸を4軸にわたり精度良く一致させる必要があり、実装コストが高価になるという問題があった。

30

【 0 0 0 9 】

上記の問題を解決するために、USP4701011やUSP5384874で開示されているように、GI (Graded-Index) 光ファイバをコリメータレンズとして用いた構造が提案されている。このGI光ファイバは、コア部分の屈折率が、放物線状に変化する光ファイバである。GI光ファイバは、光ファイバと同じ石英製のため光ファイバと融着接続することが可能で、高強度光に対する耐性を得ることが期待できる。この場合、通常のGI光ファイバは、気相CVD (Chemical Vapor Deposition) 法で作成される。気相法では、0.38のNA (例えば文献; P.B.O'Connorほか: Electron.Lett.,13(1977)170-171) が得られているが、それ以上のNAを得るために添加物 (GeO_2 , P_2O_5 など) の添加量を増やしていくと、熱膨張係数が大きくなり母材が割れやすくなるなど熱膨張性の整合の点で、また高いNAが得られないなど屈折率の制御性の点で、実際にコリメータレンズとして組み立てる際の取扱性が悪いものであった。

40

特許文献1: 米国特許第4213677号公報

特許文献2: 米国特許第4701011号公報

特許文献3: 米国特許第5384874号公報

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

50

【 0 0 1 0 】

上記のように、従来では、多軸方向にわたる複雑で微妙な調芯作業が必要で、その工程は困難を極めていた。本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、調芯作業の困難さを低減させ、結合損失が少なく、光学特性が劣化しない光ファイバコリメータ系及び光ファイバコリメータアレイ系を提供する共に、結合損失が少ない光ファイバコリメータ系及び光ファイバコリメータアレイ系を効率よく製造できる製造方法を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

本願発明は、屈折率調整物質として Sb_2O_3 、 Ta_2O_5 、 TiO_2 又は ZrO_2 から選択される1種以上を含有する石英ガラスでなるGRINレンズ(Graded Indexレンズ)の一端に光ファイバを融着したGRINレンズ付き光ファイバ1対を、そのGRINレンズ端面を対向させて一体化すると共に、前記GRINレンズ端面間に光学要素を設けた光ファイバコリメータ系の製造法であって、

複数の光ファイバコリメータ系を試作するステップと、

試作した複数の光ファイバコリメータ系の1対のGRINレンズの水平方向位置ずれ量と傾斜角度を測定するステップと、

目標歩留まり及び目標結合損失を設定するステップと、

前記水平方向位置ずれ量及び前記傾斜角度を前記目標歩留まりに照らして許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度を求めるステップと、

前記許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度からGRINレンズの開口数を求めるステップと、

前記求めた開口数以上の開口数を有するGRINレンズを用いて光ファイバコリメータ系を製造するステップを有することを特徴とする光ファイバコリメータ系の製造方法である。(請求項1)

【 0 0 1 2 】

また本願発明は、屈折率調整物質として Ta_2O_5 又は TiO_2 から選択される1種以上を含有する石英ガラスでなるGRINレンズの一端に光ファイバを融着したGRINレンズ付き光ファイバ1対を、そのGRINレンズ端面を対向させて一体化すると共に、前記GRINレンズ端面間に光学要素を設けた光ファイバコリメータ系の製造法であって、

複数の光ファイバコリメータ系を試作するステップと、

試作した複数の光ファイバコリメータ系の1対のGRINレンズの水平方向位置ずれ量と傾斜角度を測定するステップと、

目標歩留まり及び目標結合損失を設定するステップと、

前記水平方向位置ずれ量及び前記傾斜角度を前記目標歩留まりに照らして許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度を求めるステップと、

前記許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度からGRINレンズの開口数を求めるステップと、

前記求めた開口数以上の開口数を有するGRINレンズを用いて光ファイバコリメータ系を製造するステップを有することを特徴とする光ファイバコリメータ系の製造方法である。(請求項2)

【 0 0 1 3 】

また本願発明は、請求項1又は2の光ファイバコリメータ系の製造方法において、前記GRINレンズがゾルゲル法により製造されたものであることを特徴とする光ファイバコリメータ系の製造方法である。(請求項3)

【 0 0 1 4 】

また本願発明は、屈折率調整物質として Sb_2O_3 、 Ta_2O_5 、 TiO_2 又は ZrO_2 から選択される1種以上を含有する石英ガラスでなるGRINレンズ(Graded Indexレンズ)の一端に光ファイバを融着したGRINレンズ付き光ファイバ複数個を、前記GRINレンズ部分を並列して一体化した光ファイバコリメータアレイ1対を直接又はミラーを介して対向

10

20

30

40

50

させた光コリメータアレイ系の製造法であって、

複数の光ファイバコリメータアレイ系を試作するステップと、

試作した複数の光ファイバコリメータアレイ系の各対応する G R I N レンズの水平方向位置ずれ量と傾斜角度を測定するステップと、

目標歩留まり及び目標結合損失を設定するステップと、

前記水平方向位置ずれ量及び前記傾斜角度を前記目標歩留まりに照らして許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度を求めるステップと、

前記許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度から G R I N レンズの開口数を求めるステップと、

前記求めた開口数以上の開口数を有する G R I N レンズを用いて光ファイバコリメータアレイ系を製造するステップを有することを特徴とする光ファイバコリメータアレイ系の製造方法である。(請求項 4)

【 0 0 1 5 】

また本願発明は、屈折率調整物質として Ta_2O_5 又は TiO_2 から選択される 1 種以上を含有する石英ガラスでなる G R I N レンズの一端に光ファイバを融着した G R I N レンズ付き光ファイバ複数個を、前記 G R I N レンズ部分を並列して一体化した光ファイバコリメータアレイ 1 対を直接又はミラーを介して対向させた光コリメータアレイ系の製造法であって、

複数の光ファイバコリメータアレイ系を試作するステップと、

試作した複数の光ファイバコリメータアレイ系の各対応する G R I N レンズの水平方向位置ずれ量と傾斜角度を測定するステップと、

目標歩留まり及び目標結合損失を設定するステップと、

前記水平方向位置ずれ量及び前記傾斜角度を前記目標歩留まりに照らして許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度を求めるステップと、

前記許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度から G R I N レンズの開口数を求めるステップと、

前記求めた開口数以上の開口数を有する G R I N レンズを用いて光ファイバコリメータアレイ系を製造するステップを有することを特徴とする光ファイバコリメータアレイ系の製造方法である。(請求項 5)

【 0 0 1 6 】

また本願発明は、請求項 4 又は 5 の光ファイバコリメータアレイ系の製造方法において、前記 G R I N レンズがゾルゲル法により製造されたものであることを特徴とする光ファイバコリメータアレイ系の製造方法である。(請求項 6)

【発明の効果】

【 0 0 1 7 】

本発明における光ファイバコリメータ系及び光ファイバコリメータアレイ系は、G R I N レンズと光ファイバとが既に接続されているものを用いるので、組立に際してレンズと光ファイバとの光軸合わせが不要で、高効率に組み立てることができる。また、G R I N レンズと光ファイバとを融着接続するので、融着の際の表面張力による自己配列効果により G R I N レンズと光ファイバとの軸が自動的に一致し、製造がきわめて容易であり、大量生産も可能である。また、接着剤を用いないので、高強度光が入射した場合、温度上昇し接着剤が変質することにより光学特性が劣化するという問題もない。

【 0 0 1 8 】

本発明の光ファイバコリメータ系は、複数の試作品から水平方向位置ずれ量と傾斜角度の傾向を調べるので、これに基づいて目標歩留まり及び目標結合損失を達成するための許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度を求めることができる。そして、許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度から G R I N レンズに必要な開口数の最低値を求めることができるので、必要以上に大きな開口数の G R I N レンズを使用することなく、効率よく低コストで目標の歩留まり及び結合損失を達成することができる。

【 0 0 1 9 】

本発明の光ファイバコリメータアレイ系も、前記の光ファイバコリメータ系と同様に、複数の試作品から水平方向位置ずれ量と傾斜角度の傾向を調べるので、これに基づいて目標歩留まり及び目標結合損失を達成するための許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度を求めることができる。そして、許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角度からGRINレンズに必要な開口数の最低値を求めることができるので、必要以上に大きな開口数のGRINレンズを使用することなく、効率よく低コストで目標の歩留まり及び結合損失を達成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

熱膨張係数が光ファイバの石英ガラスとほぼ同等のGRINレンズは低温合成法を基盤としたゾルゲル法で製造することができる。ゾルゲル法は、原料として Si(OR)_4 (R:アルキル基)と例えばTiなどの添加元素のアルコキシドに加水分解のための H_2O および、これら原料と加水分解との相溶性のためのアルコールを加えて混合すると、加水分解が進むと共に形成された SiO_2 の微粒子による乳濁が見られ(ゾル状態)、ついで液の粘度が急激に高くなり流動性が失われてプリン状のゲル状態が出現する。このゲルを乾燥し、表面に吸着等で残留するアルコールや H_2O を徐々に除いて焼結ガラス化する。このゾルゲル手法を応用したガラス合成には、<1>低温焼結による結晶化頻度の低減、<2>分子レベルでの均質ガラスの合成、<3>高融点材料をも含めた材料の広い選択性、<4>高い材料合成の収率性による製造コストの低減の可能性などの特徴がある。このような特徴をもつゾルゲルプロセスを用いれば、高いNAを有し屈折率の制御性の良い、熱膨張係数が石英ガラスとほぼ同等であるというGRINレンズを安価に形成できる可能性がある。

【0021】

そこで、二元系シリカガラスの屈折率の予測を行ったところ、GRINレンズの組成の候補としては、 $\text{SiO}_2 - \text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{Ga}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{Sb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{Gd}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{SnO}_2$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2$ 及び $\text{SiO}_2 - \text{ZrO}_2$ 系石英ガラスが挙げられた。この中で、Bi, In, Y, Laを含む組成は、添加元素のアルコキシドがいずれも難溶性固体で、ゲルを作製できなかった。また、Gd, Gaを含む組成は、添加物が少ない領域(Siに対する添加量が20mol%以下)でしか得られなかった。また、Nb, Sn添加ガラスは結晶性物質の存在が認められるとともに、熱膨張係数が大きくGRINレンズとしては不適であった。以上の検討結果から、 $\text{SiO}_2 - \text{Sb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2$ 及び $\text{SiO}_2 - \text{ZrO}_2$ 系石英ガラスが、高いNAで屈折率の制御性がよく、且つ熱膨張係数が石英の熱膨張係数 $5 \times 10^{-7} \text{K}^{-1}$ に対して $15 \times 10^{-7} \text{K}^{-1}$ 以下で石英ガラスとほぼ同等であるというGRINレンズを形成できる可能性があることが判明した。但し、Sb添加ガラスは、ゲルの焼結時に添加元素のSbが蒸発するという、またZr添加ガラスは、加水分解反応は比較的早く、ゲル作成の過程で、溶媒であるメタノール中で少量では有るが沈殿が形成されるというプロセス上の不安定性を有していた。

以上の検討結果から、 $\text{SiO}_2 - \text{Sb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2$ 及び $\text{SiO}_2 - \text{ZrO}_2$ 系石英ガラスが、更に願わくば、プロセスの安定性を考慮し、 $\text{SiO}_2 - \text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2$ 系石英ガラスでは、熱膨張係数が石英ガラスとほぼ同等で、高いNAを有し屈折率制御性の高いGRINレンズを形成できることが判明した。

【0022】

本発明におけるGRINレンズは、 $\text{SiO}_2 - \text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2$ 系石英ガラスを主成分とし、熱膨張率が光ファイバとほぼ同等であるため、光ファイバとの融着接続が可能となる。ほぼ同じ断面形状を有する光ファイバとGRINレンズを酸水素パーナなどの火炎のもとで融着接続すると、表面張力均衡化による自己配列効果により、これまでの懸案であった精密な軸合わせを行うことなく光ファイバとGRINレンズの中心軸が一致し、組立て性が大幅に向上するという大きなメリットがある。この融着接続は、生産性向上の必須技術であり、融着接続することにより、光ファイバとレンズの境界面から反射されて半導体レーザに戻る光が軽減されるばかりか、従来のような接着剤を用いた接続のように、接着剤の光吸収により高強度光が入射した場合、温度上昇し接着剤が変質することにより光学特性が劣化するという問題も解消する。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 3 】

図5は光ファイバ2a, 2bに融着接合させたGRINレンズ1a, 1bを対向配置させた単芯のコリメータ系のXZ断面図である。GRINレンズ1bをGRINレンズ1aに対向配置させる際に、種々の方向への軸ずれが発生するのが一般的で、図5に示したように理想的な光軸ZからGRINレンズ1bの中心軸はX方向へ変位D(μm)、X方向における傾斜角θ(ラジアン)が生じているとする。光ファイバ2aからの出射光を、光ファイバ2aに融着接合させたGRINレンズ1aに入射させたときに、その中を伝搬する基本波の電界分布は近似的にガウス分布となる。そのガウス分布は、GRINレンズ1aの長さLが式(3)で示した蛇行周期の1/4、すなわち $L=L_{1/4}$ の時には、GRINレンズ1aの端面付近では(4)式に示されるスポットサイズωを持ち、GRINレンズ1aの端面から、光ファイバ2aとGRINレンズ1aの光軸Zにほぼ平行なガウス分布を持つ光ビーム6として出射する。

10

$$\omega = \frac{2}{\omega_0 k n_0 g} \quad (4)$$

ここで、 ω_0 は単一モード光ファイバの電界分布のスポットサイズで、単一モード光ファイバがカットオフ周波数(=2.4)に近い構造では、光ファイバのコア半径を a_0 とすると、近似的に $\omega_0=1.1 a_0$ で与えられる。また、kは波数で、光の波長をλとすると $k=2\pi/\lambda$ で与えられる。

20

【 0 0 2 4 】

図5に示すように、X方向(水平方向)の位置ずれDや傾斜角度θが発生している場合には、平行なガウスビーム6は、完全にGRINレンズ1bを伝搬する基本波と一致せず、その結果として一部のエネルギーは光ファイバに取り込まれず、結合損失となる。この結合損失Tは、平行なガウスビーム6の電界分布と式(4)で示されるスポットサイズωをもつGRINレンズ1bの基本波の電界分布との重なり積分を解くことによって求めることができ、デシベル表示すると近似的に式(5)によって表すことができる。

30

$$T(dB) = 4.343 \left\{ \left(\frac{D}{\omega} \right)^2 + \left(\frac{k n_0 \omega \theta}{2} \right)^2 \right\} \quad (5)$$

【 0 0 2 5 】

図6に、結合損失Tを縦軸にGRINレンズのスポットサイズωを横軸に取った時の式(5)の定性的な関係を示す。式(5)はωの関数で、そのグラフは $\omega=(2D/kn_0\theta)^{1/2}$ で最小値を持つ下に凸のカーブである。このため、図6に示すように結合損失をT(dB)より小さくするには、GRINレンズのスポットサイズωは、結合損失T(dB)と交差するグラフ上の2点のGRINレンズのスポットサイズ ω_L 、 ω_H の間にあればよい。すなわち、式(6)を満足するように選択すればよい。

40

$$\omega_L \cong D \sqrt{\frac{4.34}{T}} \leq \omega \leq \omega_H \cong \frac{\sqrt{0.92T}}{k n_0 \theta} \quad (6)$$

50

【 0 0 2 6 】

式(2)、(4)を式(6)に代入すれば、式(7)に示すように、結合損失をT(dB)より小さくするに必要なGRINレンズの開口数NAが求められる。

$$\frac{2\theta}{\omega_0 \sqrt{0.92T}} \leq g = \frac{NA}{n_0 a} \leq \frac{\sqrt{0.92T}}{\omega_0 k n_0 D} \quad (7)$$

【 0 0 2 7 】

10

通常の市場で使われている図4に示したコリメータ系の構造では、加工精度を向上させれば位置の変位Dを極力小さく抑えることはできるが、傾斜角度θの調芯手段が乏しく、傾斜角度θを小さく調芯することは不可能に近い。このため、式(7)が示しているように、傾斜角度θが大きくなれば、GRINレンズの開口数NAは大きくなければならず、実際の調芯作業を容易にするのは、式(7)で求めた値よりも大きなNAのGRINレンズを用いなければならない。

【 0 0 2 8 】

例えば、多数のコリメータ系を試作し、それらの対向する1対のGRINレンズの水平方向位置ずれと傾斜角度を測定し、図8、図9に示す結果が出たとする。仮に、全ての組み立てたコリメータ系の90%以上のものの結合損失を1dB以下に抑えるという目標を立てると、図8及び図9から、水平方向位置ずれ量Dを0.80μmに、傾斜角度θを0.85度(すなわち0.0148ラジアン)にすればよい。これを式(7)に代入すれば、GRINレンズの半径を光ファイバ(コア径a₀=6.5μm)と同じ62.5μmとすれば、波長1.5μmにおいてNA=0.4以上のGRINレンズを用いればよいということが分かる。

20

【 0 0 2 9 】

また、例えば多数のコリメータアレイ系を試作し、それらの対向する各対のGRINレンズの水平方向位置ずれと傾斜角度を測定し、図12、図13に示す結果が出たとする。仮に、全ての組み立てたコリメータ系の90%以上のものの結合損失を1dB以下に抑えるという目標を立てると、図12及び図13から、水平方向位置ずれ量Dを1.0μmに、傾斜角度θを1.0度(すなわち0.0175ラジアン)にすればよい。これを式(7)に代入すれば、GRINレンズの半径を光ファイバ(コア径a₀=6.5μm)と同じ62.5μmとすれば、波長1.5μmにおいてNA=0.48以上のGRINレンズを用いればよいことになる。

30

【 実施例 1 】

【 0 0 3 0 】

図7は実施例1の光ファイバコリメータ系で、筒状のコリメータホルダ9の両側からGRINレンズ1a, 1b付きの光ファイバ2a, 2bを差し込んで接着固定し、中央に光学素子10(この場合は光アイソレータ)を装着したものである。このコリメータ系を細心の注意を払って約230組を組立て、対向するGRINレンズのX方向とY方向の水平方向への変位(位置ずれ量D)と傾斜角(角度ずれ量)θ_x、θ_yを測定した。それらのX方向とY方向の水平方向への変位(位置ずれ量)の累積回数を図8に、X方向とY方向における傾斜変位(角度ずれ量)θ_x、θ_yの累積回数を図9に示す。これら図8、9より、水平方向の位置ずれ量は、-0.3μmをピークとして約±1μm幅で分布し、傾斜角度のずれ量は、0.65度をピークとして約±0.5度幅で分布していることがわかる。

40

【 0 0 3 1 】

実施例1のコリメータ系を組み立てるのに際し、組立総数の90%以上のものの結合損失を1dB以下に抑えるという目標を立てた。この目標を達成するための許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角を図8、図9から求めたところ、許容水平方向位置ずれ量Dは0.80μm、許容傾斜角度θは0.85度(すなわち0.0148ラジアン)となった。これを式(7)に代入して必要なNAを計算した。GRINレンズの半径を光ファイバ(コア径a₀=6.5μm)と同じ62.5μmとすれば、波長1.5μmにおいてNA=0.48となり、これ以上の開口数を有

50

するGRINレンズを用いればよいことが分かった。

【0032】

次にGRINレンズ付きの光ファイバを製作した。シリコンテトラメトキシド75.5 mlとイソプロパノール183.4 mlとの混合液に2規定塩酸9.2 mlを添加し、30分間攪拌した後、チタンテトラnブトキシド30.8 mlを加えた。その後、0.01規定アンモニア水を添加しウェットゲルを得た。前記ウェットゲルを50で2日間熟成した後、そのウェットゲルを3規定塩酸中に6時間浸漬し、ゲル中にチタンの濃度分布を付与した。浸漬後、ゲルをメタノール中に浸漬し、ゲル中の塩酸分の洗浄を行ってから乾燥させ直径約10 mmのドライゲルを得た。得られたドライゲルを、室温から350までは10 / hrで昇温し、その後1200まで昇温して焼成し透明なガラス体を得た。この円柱状ガラス体の屈折率分布を測定した結果、中心から周辺に向かってほぼ2乗カーブで減少する $NA=0.42$ のGRINレンズの母体を得られた。このNAは前記の式(7)から求めた $NA=0.4$ よりも大きいので、これを使用することが可能であることが分かった。

10

【0033】

この母体をカーボンヒータの電気炉に0.04 mm/sで挿入しながら外径125 μm の光ファイバに紡糸して、GRINレンズ状光ファイバを作製した。作製したGRINレンズ状光ファイバをコア径6.5 μm の単一モード光ファイバの一端に放電融着接続器を用いて融着接続した。その後、GRINレンズ内を伝搬する光の蛇行周期の1/4周期長350 μm で切断加工し、GRINレンズ付き光ファイバを得た。

20

【0034】

得られたGRINレンズ付き光ファイバを用いて、図7のコリメータ系を90本作成し、全ての結合損失を測定したところ、ほぼ95%のコリメータ系において結合損失が1 dB以下の高い結合効率が得られた。

【実施例2】

【0035】

図10、11は実施例2の光ファイバコリメータアレイに関する。光ファイバ付きGRINレンズの先端部分を、 SiO_2 基板12上に化学的エッチングにより形成された周期的なV溝13に規則正しく8列配列し、更に、それらを規則正しく8段に積層し、フレーム14内に固定して8×8のGRINレンズコリメータアレイを作製した。このコリメータアレイから、細心の注意を払って、図3に示すMEMS式の2自由度の光スイッチアレイ3が2段挿入されている光ファイバコリメータアレイ系1組を組み立てた。対向する各対のGRINレンズのX方向とY方向の水平方向への変位(位置ずれ量D)と傾斜角(角度ずれ量) θ_x 、 θ_y を測定した。それらのX方向とY方向の水平方向への変位(位置ずれ量)の累積回数を図12に、X方向とY方向における傾斜変位(角度ずれ量) θ_x 、 θ_y の累積回数を図13に示す。水平方向の位置ずれ量は-0.6 μm をピークとして非対称に分布し、傾斜角度のずれ量は0.8度をピークとして非対称に分布している事がわかる。

30

【0036】

実施例2のコリメータアレイ系を組み立てるのに際し、GRINレンズの対の総数の90%以上のものの結合損失を1 dB以下に抑えるという目標を立てた。この目標を達成するための許容水平方向位置ずれ量及び許容傾斜角を図12、図13から求めたところ、許容水平方向位置ずれ量Dは1.0 μm 、許容傾斜角度 θ は1.0度(すなわち0.0175ラジアン)となった。これを式(7)に代入して必要なNAを計算した。GRINレンズの半径を光ファイバ(コア径 $a_0=6.5 \mu\text{m}$)と同じ62.5 μm とすれば、波長1.5 μm において $NA=0.48$ となり、これ以上の開口数を有するGRINレンズを用いればよいことが分かった。

40

【0037】

次にGRINレンズ付きの光ファイバを製作した。シリコンテトラメトキシド75.5 mlとイソプロパノール183.4 mlとの混合液に2規定塩酸9.2 mlを添加し、30分間攪拌した後、チタンテトラnブトキシド30.8 mlを加えた。その後、0.01規定アンモニア水を添加しウェットゲルを得た。前記ウェットゲルを50で2日間熟成

50

した後、そのウェットゲルを6規定塩酸中に2時間浸漬し、ゲル中にチタンの濃度分布を付与した。浸漬後、ゲルをメタノール中に浸漬し、ゲル中の塩酸分の洗浄を行った。その後、上記ゲルを6規定塩酸中に20分間浸漬し、2回目の濃度分布付与を行い、1回目と同様にゲルをメタノール中に浸漬して塩酸の洗浄を行ってから乾燥させた。その後、上記ゲルを6規定塩酸中に8分間浸漬し、3回目の濃度分布付与を行い、1回目と同様にゲルをメタノール中に浸漬して塩酸の洗浄を行ってから乾燥させ直径約10mmのドライゲルを得た。得られたドライゲルを、室温から350℃までは10℃/hrで昇温し、その後1200℃まで昇温して焼成し透明なガラス体を得た。この円柱状ガラス体の屈折率分布を測定した結果、中心から周辺に向かってほぼ2乗カーブで減少する $NA=0.5$ のGRINレンズの母体を得られた。このNAは前記の式(7)から求めた $NA=0.48$ よりも大きいので、これを使用することが可能であることが分かった。

10

【0038】

この母体をカーボンヒータの電気炉に0.04mm/sで挿入しながら外径125μmの光ファイバに紡糸して、GRINレンズ状光ファイバを作製した。作製したGRINレンズ状光ファイバをコア径6.5μmの単一モード光ファイバの一端に放電融着接続器を用いて融着接続した。その後、GRINレンズ内を伝搬する光の蛇行周期の1/4周期長295μmで切断加工し、GRINレンズ付き光ファイバを得た。

【0039】

得られたGRINレンズ付き光ファイバから図11の光ファイバコリメータアレイを組み立て、更に、図3の光ファイバコリメータアレイ系を作成した。全てのチャンネルの結合損失を測定したところ、全てのチャンネル(GRINレンズ付き光ファイバの対)において、1dB以下の高い結合効率が得られた。

20

【0040】

上記実施例は $SiO_2 - TiO_2$ 系の石英ガラスとする場合であるが、例えば、 $SiO_2 - Ta_2O_5$ 系の石英ガラスとするには、チタンテトラnブトキシドに代えてタンタルエトキシドを、 $SiO_2 - Sb_2O_3$ 系の石英ガラスとするにはトリエチルアンチモンを、 $SiO_2 - ZrO_2$ 系の石英ガラスとするには、ジルコニウムプロポキシドを用いればよい。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1】GRINレンズの屈折率分布の説明図である。

30

【図2】コリメータ系の斜視図である。

【図3】コリメータアレイ系の概略斜視説明図である。

【図4】コリメータ系の一部切欠側面図である。

【図5】コリメータ系のXZ断面図である。

【図6】GRINレンズのスポットサイズ ω と結合損失の関係図である。

【図7】コリメータ系の一部切欠側面図である。

【図8】コリメータ系の水平方向位置ずれ量の説明図である。

【図9】コリメータ系の傾斜角度の説明図である。

【図10】コリメータアレイの斜視説明図である。

【図11】コリメータアレイの正面図である。

40

【符号の説明】

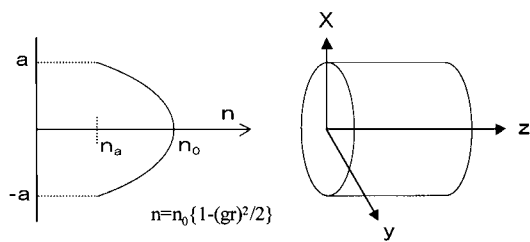
【0042】

- 1 光ファイバコリメータアレイ
- 1 a GRINレンズ
- 1 b GRINレンズ
- 2 光ファイバアレイ
- 2 a 光ファイバ
- 2 b 光ファイバ
- 3 光スイッチアレイ
- 3 a 光スイッチ

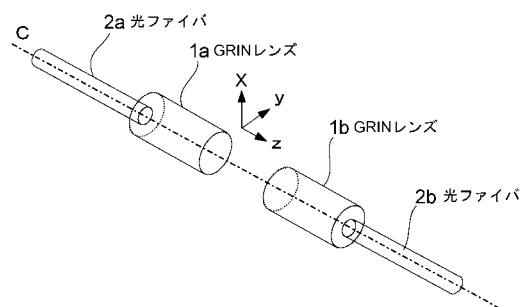
50

- 3 b 光スイッチ
- 3 c マイクロミラー
- 6 平行なガウスビーム
- 7 光ファイバ芯線
- 8 光ファイバレンズホルダ
- 9 コリメータホルダ
- 10 光学要素
- 11 固定用フランジ
- 12 基板
- 13 V溝
- 14 フレーム

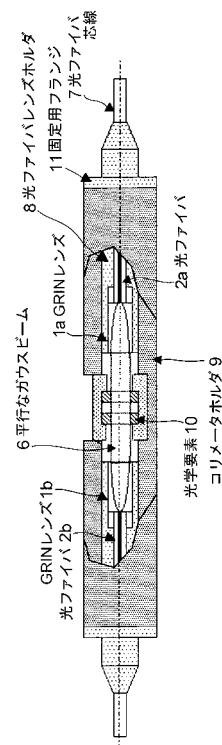
【図 1】



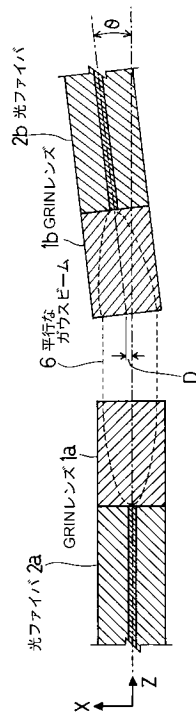
【図 2】



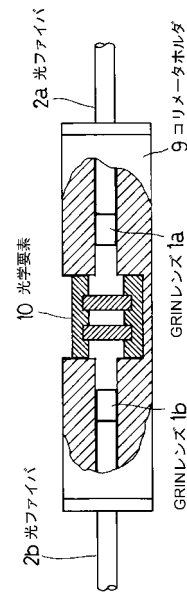
【図 4】



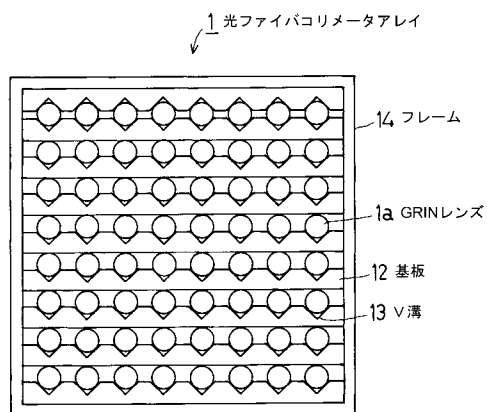
【図 5】



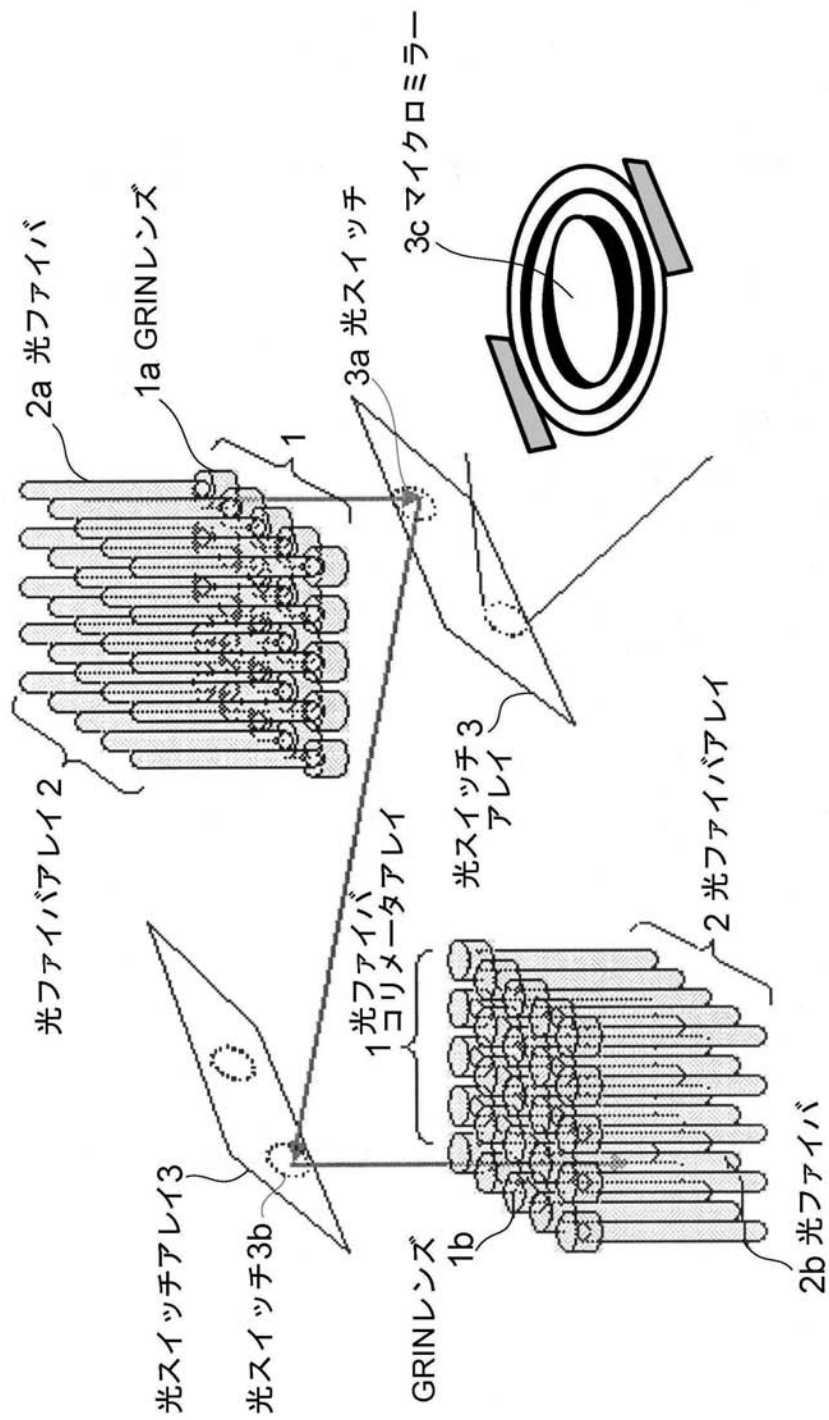
【図 7】



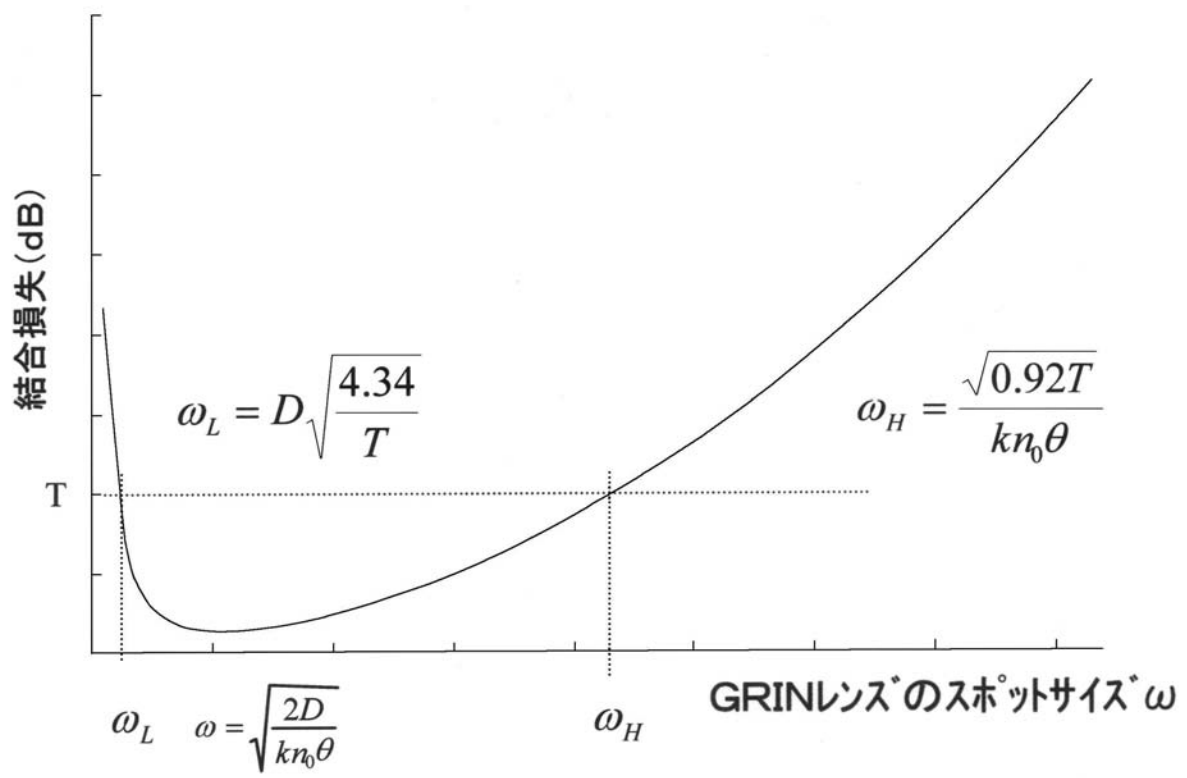
【図 11】



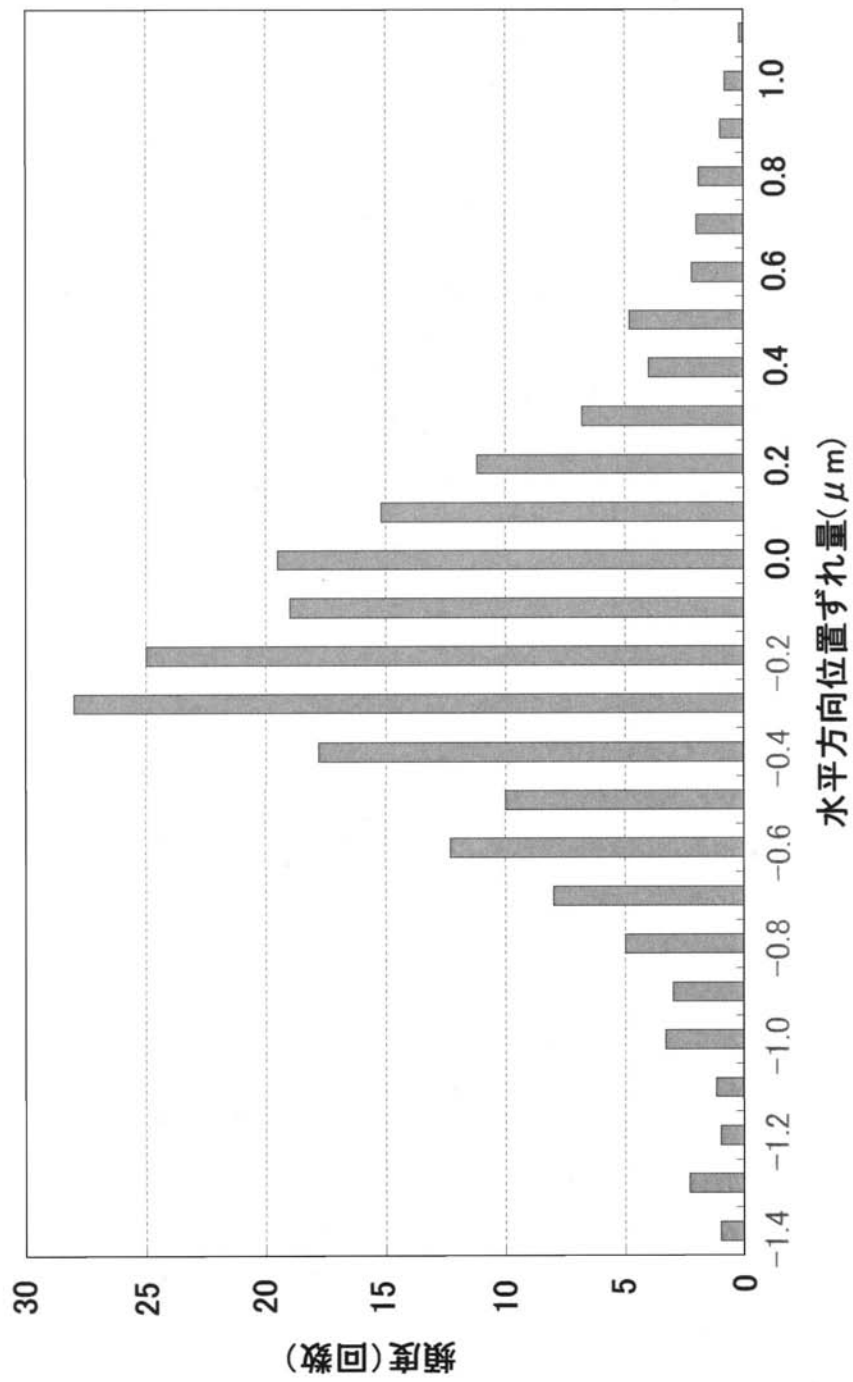
【図 3】



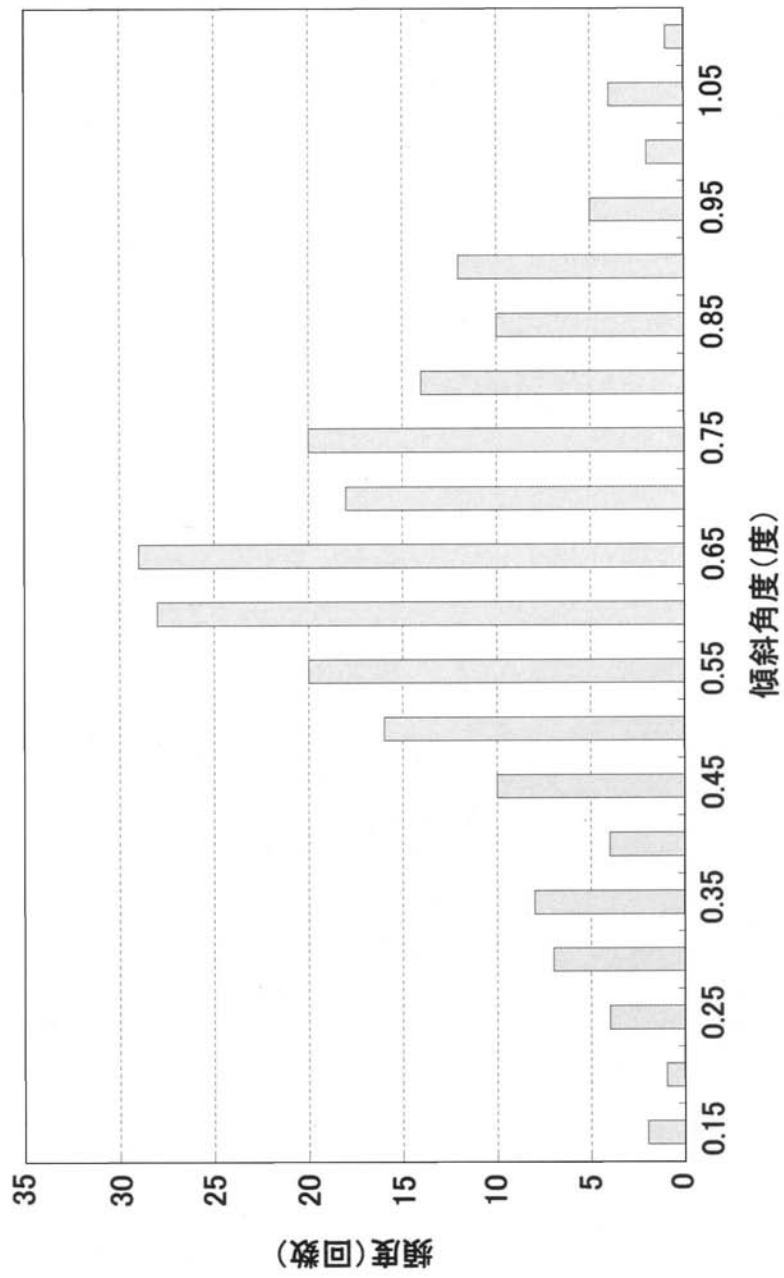
【図 6】



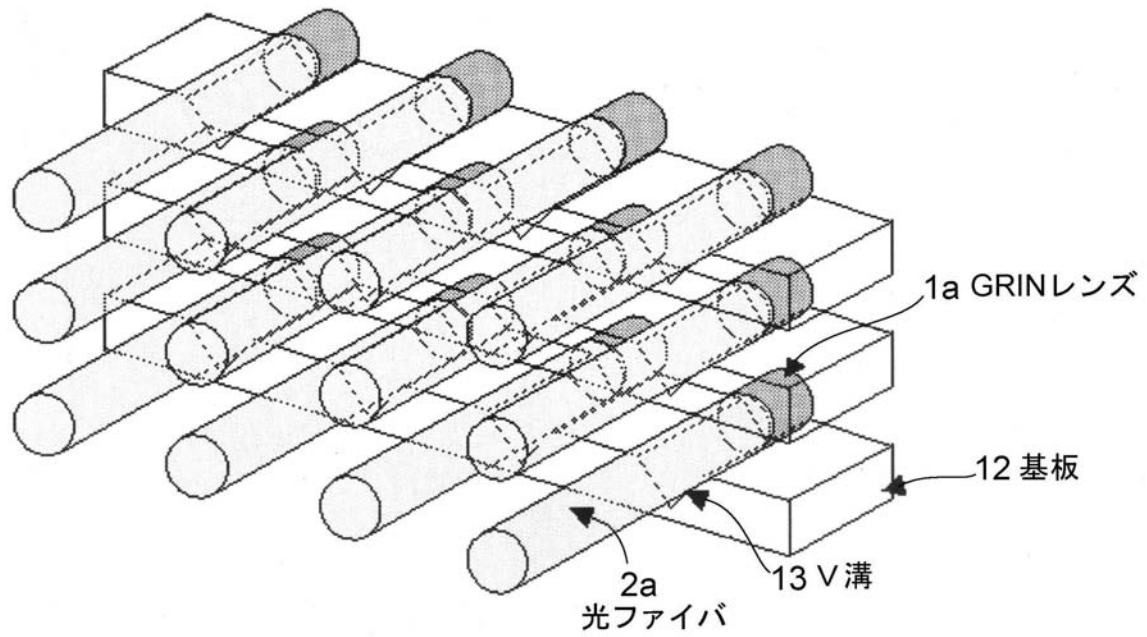
【図 8】



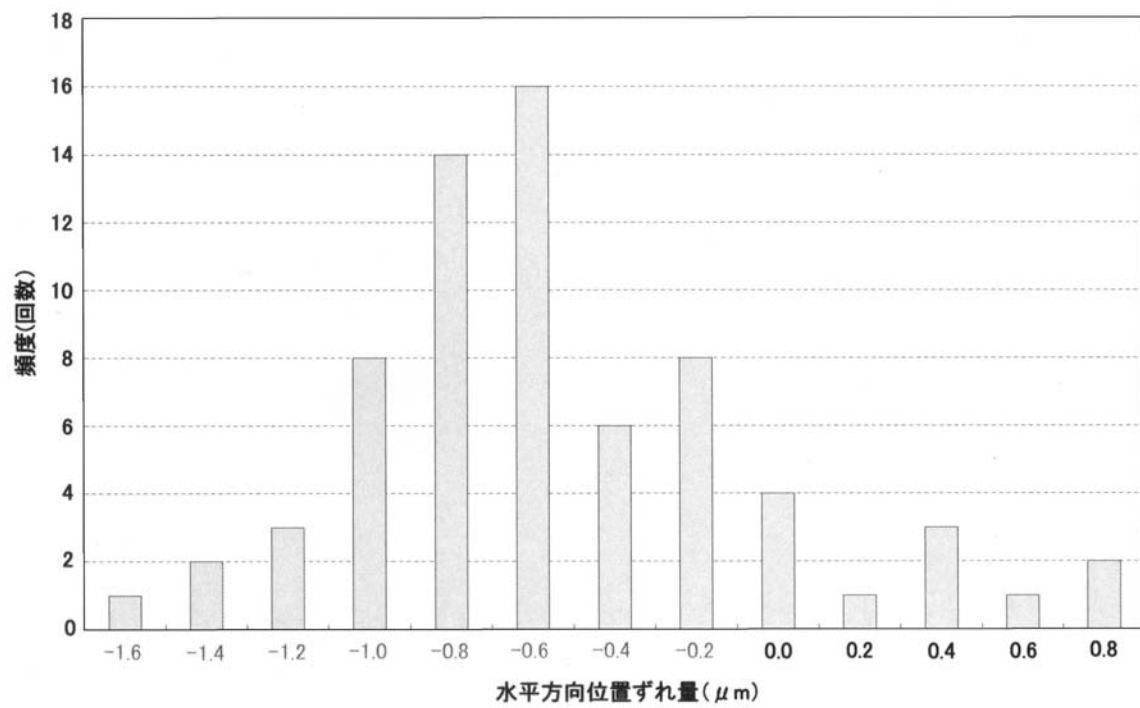
【図 9】



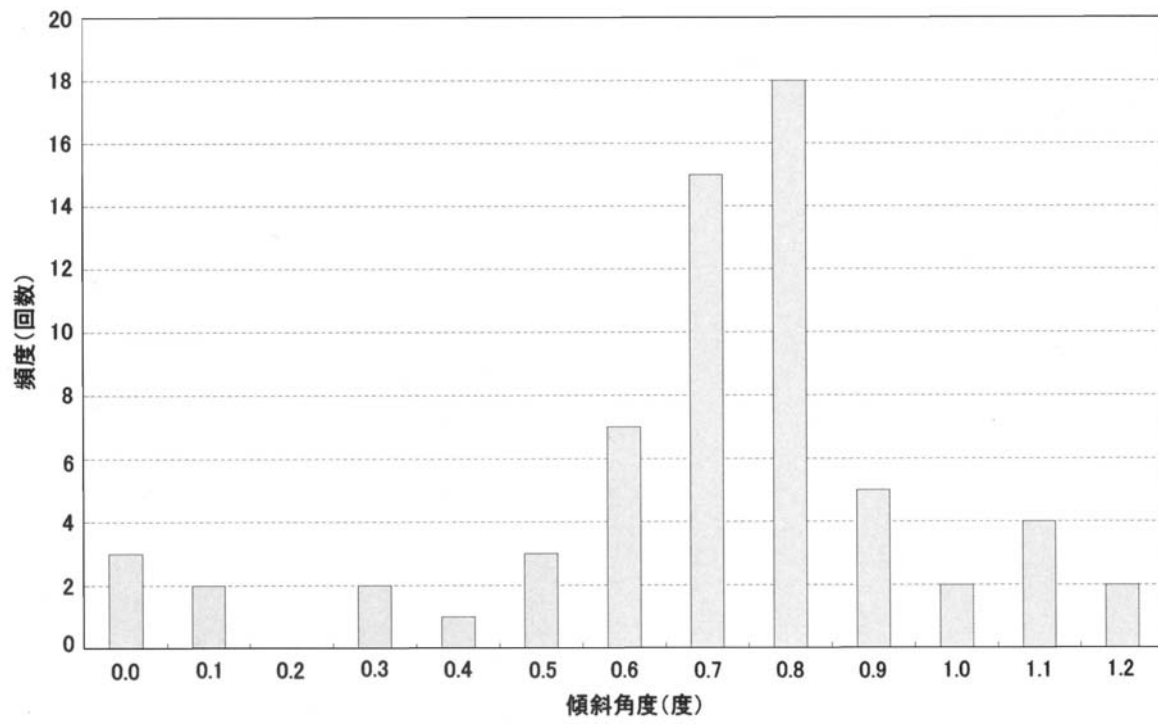
【図 10】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

審査官 日夏 貴史

- (56)参考文献 特開 2 0 0 4 - 2 1 9 5 5 4 (J P , A)
特開平 0 6 - 1 3 8 3 4 2 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 3 7 2 6 0 4 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 3 0 2 2 9 2 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
G02B 6/28 - 6/32