世界知的所有権機関
国際事務局

PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(51) 国際特許分類5
G02B 6/36, B28B 21/38

A1

(11) 国際公開番号 WO 95/09373

(43) 国際公開日 1995年4月6日 (06.04.95)

(21) 国際出願番号 PCT/JP94/01562
(22) 国際出願日 1994年9月22日(22. 09. 94)

(30) 優先権データ
特願平5/239590 1993年9月27日(27. 09. 93) JP
特願平6/7806 1994年1月27日(27. 01. 94) JP
特願平6/150595 1994年6月9日 (09.06.94) JP

(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について)
東陶機器株式会社(TOTO LTD.)〔JP/JP〕
〒802 福岡県北九州市小倉北区中島2丁目1番1号 Fukuoka, (JP)
(72) 発明者；および
(75) 発明者／出願人 (米国についてのみ)
早川 信(HAYAKAWA, Makoto)〔JP/JP〕
小林 修(KOBAYASHI, Osamu)〔JP/JP〕
山内 健(YAMAUCHI, Ken)〔JP/JP〕
〒802 福岡県北九州市小倉北区中島2丁目1番1号
東陶機器株式会社内 Fukuoka, (JP)
(74) 代理人
弁理士 渡部 温(WATANABE, Atsushi)
〒169 東京都新宿区高田馬場1丁目20番10号205 Tokyo, (JP)

(81) 指定国
KR, US, 欧州特許(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

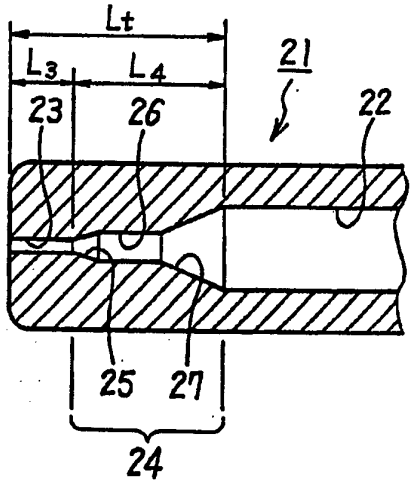
添付公開書類 国際調査報告書

(54) Title : CAPILLARY FOR OPTICAL FIBER CONNECTORS AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

(54) 発明の名称 光ファイバコネクタ用キャピラリ及びその製造方法

(57) Abstract

This invention provides a capillary for optical fiber connectors which can be obtained at a low manufacturing cost, and a method of manufacturing the same. The capillary for optical fiber connectors according to the present invention comprises a cylindrical ceramic body, which includes thin straight bores (3) with an inner diameter slightly larger than the outer diameter of an optical fiber to pass them through, and joint end surfaces in which the thin bores are open. The capillary is characterized in that an inner surface of the thin bore substantially has a baked skin. Therefore, the manday of a grinding process for the inner surface of the thin bore decreases greatly as compared with that of the same process for a conventional capillary for optical fiber connectors, and the manufacturing cost can be minimized.



（５７）要約

加工コストが低い光ファイバコネクタ用キャピラリ及びその製造方法を提供する。本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリは、筒状のセラミックス焼結体からなり、光ファイバの素線を挿通するための、該光ファイバ素線外径よりもわずかに大きい内径を有するストレート穴状の細孔３と、この細孔が開口する接続用端面と、を有し；この細孔内面が実質的に焼成肌であることを特徴とする。そのため、細孔内面の研削加工の工数が、従来の光ファイバコネクタ用キャピラリよりも著しく低減されており、製造コストを低く抑えることができる。

情報としての用途のみ
ＰＣＴに基づいて公開される国際出願をパンフレット第一頁にＰＣＴ加盟国を同定するために使用されるコード

AM	アルメニア	DK	デンマーク	LI	リヒテンシュタイン	PT	ポルトガル
AT	オーストリア	EE	エストニア	LK	スリランカ	RO	ルーマニア
AU	オーストラリア	ES	スペイン	LR	リベリア	RU	ロシア連邦
BB	バルバドス	FI	フィンランド	LT	リトアニア	SD	スーダン
BE	ベルギー	FR	フランス	LU	ルクセンブルグ	SE	スウェーデン
BF	ブルギナ・ファソ	GA	ガボン	LV	ラトヴィア	SI	スロヴェニア
BG	ブルガリア	GB	イギリス	MC	モナコ	SK	スロヴァキア共和国
BJ	ベナン	GE	グルジア	MD	モルドバ	SN	セネガル
BR	ブラジル	GN	ギニア	MG	マダガスカル	SZ	スワジランド
BY	ベラルーシ	GR	ギリシャ	ML	マリ	TD	チャード
CA	カナダ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	TG	トーゴ
CF	中央アフリカ共和国	IE	アイルランド	MR	モーリタニア	TJ	タジキスタン
CG	コンゴー	IT	イタリー	MW	マラウイ	TT	トリニダード・トバゴ
CH	スイス	JP	日本	MX	メキシコ	UA	ウクライナ
CI	コート・ジボアール	KE	ケニア	NE	ニジェール	UG	ウガンダ
CM	カメルーン	KG	キルギスタン	NL	オランダ	US	米国
CN	中国	KP	朝鮮民主主義人民共和国	NO	ノルウェー	UZ	ウズベキスタン共和国
CZ	チェッコ共和国	KR	大韓民国	NZ	ニュー・ジーランド	VN	ヴィェトナム
DE	ドイツ	KZ	カザフスタン	PL	ポーランド		

明　細　書

光ファイバコネクタ用キャピラリ及びその製造方法

産業上の利用分野

本発明は、２本の光ファイバの端面同士を突き合わせて両光ファイバ間に光信号を伝達するための光コネクタに用いられる光ファイバコネクタ用キャピラリ及びその製造方法に関する。

従来の技術

光ファイバコネクタは、２本の光ファイバの端面を正確に突き合わせ、両光ファイバ間を光信号が良好に伝達されるように、光ファイバを接続するものである。

図１７は、現在用いられる代表的な光コネクタの概略構造を示す断面図である。光コネクタ１００は、図の左右の光ファイバケーブル１０１と１０１’とを接続している。

光ファイバケーブル１０１、１０１’中には、光ファイバ１０２、１０２’が通っている。光ファイバ１０２、１０２’は、光ファイバケーブル１０１、１０１’からむき出しにされて、光コネクタ１００内で、キャピラリ１０４中心の細孔１０５に挿通され、接着剤で固定されている。キャピラリ１０４、１０４’は、スリーブ１０６内に、軸方向に向き合って嵌め込まれる。両キャピラリ１０４、１０４’は、その端面同士が、スリーブ１０６内のほぼ中心で接している（キャピラリ接触端面１０８、球面または平面加工されている）。このキャピラリ接触端面で、光ファイバ１０２と１０２’とはぴったりと、軸ズレも角度ズレもほとんど無く接しなければならない。同接触端面は、キャピラリー製造時に予め

研磨して端面形状を整えた後、最終的には光ファイバと一体に現場で研磨された後に組み立てられる。そのため、両光ファイバ間を、光信号がほとんど減衰・反射することなく通過できる。なお、光コネクタ１００の両端のフランジ１０７、１０７’は、光ファイバケーブル１０１、１０１’と接着剤で固定されるとともに、爪を介してハウジング係合部に嵌合され、ハウジング係合部はネジ、バイオネットロック、プッシュ・オンロック等により、スリーブ１０６と接続（図示されず）される。したがって、光ファイバケーブル１０１、１０１’間に働く力は、フランジ１０７、１０７’からスリーブ１０６にかかり、光ファイバ１０２には力がかからないようになっている。

光コネクタ１００の各部の寸法例は以下である。

① 光ファイバ：径 １２５μｍ

② キャピラリ：外径 ２．５ｍｍ、長さ １０．５ｍｍ
内径 １２６μｍ

このような光コネクタキャピラリ用の材料に求められる特性は以下である。

① 細孔に光ファイバを通しやすいこと。

② 精度よく加工できること。特に、細孔の内径、外径精度、真直度、細孔と外周面との同心度が、精度よく出せることと。

③ 靭性がある程度以上であること。コネクタ組立時や接続作業時に誤って落としたり、衝撃を加えたりしても割れないこと。

④ 光ファイバの熱膨張率５×１０$^{-6}$℃に対して、熱膨張率があまりかけ離れていないこと。温度変化によって光ファイバがキャピラリの細孔内にひっ込んだり、出っ張ったりすると、光信号伝達上の損失となる。

このような特性の要求される光コネクタ用キャピラリの材料と

して、セラミック焼結体が広く用いられる。その理由は、金属、プラスチックと比較して下記の点に優れているためと考えられる。

① 塑性変形を生じにくいので、加工中の変形、カエリなどが生じず高精度に加工できる。また、キャピラリを突き合わせた時に押圧力により変形しない。

② ガラスを主成分とするファイバとのなじみがよく、キャピラリ内径とファイバ外径とのクリアランスが１μｍ以下でも容易にファイバを挿入することができる。

③ ファイバとの熱膨張差が小さく、耐熱性にも優れるので、熱的環境変化に強い。

④ 耐摩耗性に優れるため、コネクタの繰り返し着脱時に摩耗粉による端面汚染が生じにくく、接続不良が発生しにくい。

光ファイバコネクタ用キャピラリの形状や材質、製造方法に関しては、多数の特許出願がなされている。例えば、特公平1-45042には、中心に光ファイバ素線を挿入するための下穴をあけたアルミナ等を主成分とする円柱状成形体を焼成してキャピラリの原形を作り、焼成後、キャピラリの下穴にワイヤを通しワイヤ上に付されたダイヤモンド・ペースト等によって下穴を磨く工程を含む光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法が開示されている。

特開平1-262507には、光ファイバの端部がそれぞれ固定される一対のフェルール（キャピラリ）と、これらのフェルールが嵌挿され突き合わされるスリーブと、これらのフェルールに軸方向の押圧力を印加する手段とを備えた光ファイバコネクタにおいて、前記フェルールの突き合わせ端面を該フェルールの軸線上を中心とする曲率半径が１０ｍｍから２５ｍｍの凸球面に形成した光ファイバコネクタ用キャピラリが開示されている。またフェルール（キャピラリ）をジルコニアセラミックスにより構成することも開示

されている。

特開平2-304508には、セラミックフェルール（キャピラリ）の中心に沿って穿設した軸孔に光ファイバを装着し、このセラミックフェルールの接続端面を突き合わせることにより光ファイバを接続する光ファイバ用コネクタにおいて、上記軸孔は軸方向に内径が一定な直管部と、光ファイバを挿入する挿入端面側に拡開するテーパ管部とから構成したことを特長とする光ファイバ用コネクタが開示されている。

このようなセラミックキャピラリの製造方法としては、押出成形法、射出成形法または粉末プレス法が考えられる。しかし、押出成形法の場合は、ストレートなチューブしか製造できないため、テーパ部については機械加工で形成しなければならない。このような後加工を行う際は、加工傷を残さぬように慎重に作業を進めなければならない。加工傷が生じると、そこの部分との接触によりファイバが損傷したり折損したりするおそれがあるからである。したがって、押出成形法は加工費がかさみ、キャピラリの製造方法に向いているとは言えない。この点、射出成形法と粉末プレス法はテーパ部を同時成形できるので好ましい。なかでも、得られる焼結体の寸法精度の良い射出成形法が最も好ましい。

図１８は、従来の射出成形型の１例の断面図である。第１型１１１には、キャピラリ用のキャビティ１１２が刻設されている。また、第２型１１３には、テーパ部１１４及びニードル１１５が突設され、かつ、ゲート１１６が設けられている。第１型１１１に第２型１１３を型合わせし、この際にニードル１１５の先端を第１型１１１の凹部１１１ａに差し込む。この状態で、ゲート１１６を介して、バインダを含むセラミック粉末を、キャビティ１１２に高圧で射出する。

発明が解決しようとする課題

射出成形されたセラミックキャピラリを切断したところ、ニードル１１５によって形成された細孔部が、完全な直線ではなくてわずかに湾曲していることが判明した。これは、図１８に想像線で示すようにニードル１１５がたわんだためである。すなわち、ニードル１１５は極めて細く曲げ剛性が小さいため、また、射出されたコンパウンドがニードル１１５の円周面に完全に均等に行き渡るわけではないので、ニードル１１５の長さ方向の中央付近がたわんだものと推定される。

細孔部の曲がりはある程度は許容されるが、それを越える分は「孔加工」を施して曲がりを矯正する必要がある。細孔部の径は、焼成後の完成品で一定値に規定されているので、孔加工する場合には削りしろを見込む必要がある。そうなると、削りしろの分だけ成形品の細孔部の径は小さくなり、同時にニードル１１５も細くなる。細いニードルが更に細くなるので、上記曲がり及び撓みは更に増すという悪循環が起こり、この対策が求められている。粉末プレス法でも、プレス圧をニードルに完全に均等に掛けることは困難であるから、同様の問題が存在する。

また、孔加工を施すとテーパ部（図１７の１０３）と細孔部（同図の１０５）との境目にエッジが立ちやすく、このエッジが挿入されるファイバ素線を傷めるおそれがある。したがって、孔加工は簡単ではなく製造費の高騰を招く。

結局、従来の光ファイバコネクタ用キャピラリ及びその製造方法には以下の問題点があった。

① 細孔加工が必要不可欠で、その分コスト高となっていた。

② 細孔とテーパ穴部との交差部にエッジ（加工バリ）が立ちやすく、ファイバ挿入時にファイバが折損したり傷付いたりするお

それがあった。

本発明は、加工コストが低い光ファイバコネクタ用キャピラリ及びその製造方法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

本発明の第一態様の光ファイバコネクタ用キャピラリは、２本の光ファイバの端面同士を突き合わせ、両光ファイバ間に光信号を伝達する光コネクタに用いられるキャピラリであって；筒状のセラミックス焼結体からなり、光ファイバの素線を挿通するための、該光ファイバ素線外径よりもわずかに大きい内径を有するストレート穴状の細孔と、この細孔が開口する接続用端面と、を有し；この細孔内面が実質的に焼成肌であることを特徴とする。

本発明の第二態様の光ファイバコネクタ用キャピラリは、２本の光ファイバの端面同士を突き合わせ、両光ファイバ間に光信号を伝達する光コネクタに用いられる、筒状のセラミックス焼結体からなるキャピラリであって；光ファイバの素線を挿通するための、該光ファイバ素線外径よりもわずかに大きい内径を有するストレート穴状の細孔と、この細孔が開口する接続用端面と、細孔の反接続用端面側に、細孔と同軸状に、徐々に拡開しつつ延びるテーパ穴部と、このテーパ穴部と同軸上に連なる、光ファイバ芯線を挿通するための、ストレート穴状の太孔と、を有し；上記細孔内面が実質的に焼成肌であることを特徴とする。

作用

本発明の上記２態様の光ファイバコネクタ用キャピラリは、いずれも、細孔が実質的に焼成肌であるので、研削加工の工数が、従来の光ファイバコネクタ用キャピラリよりも著しく低減されて

いる。そのため、製造コストを低く抑えることができる。また、細孔の研削加工時に、細孔部とテーパ部との交差部等に生じることのあるエッジがない。したがって、エッジに起因するファイバの損傷を防止できる。ここで、キャピラリの細孔が実質的に焼成肌であるとは、従来の湾曲を修正するほどの著しい細孔加工（5 μm 以上の加工代）をしないことを意味する。したがって、完全な焼成肌の他に、付着したセラミック粉を除去する程度の若干の修正研削加工や遊離砥粒による噴射加工を施された肌をも含む意味である。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリにおいては、上記キャピラリを構成するセラミックス焼結体用の成形体が、セラミックス粉末とバインダとの混合物を射出成形することにより成形されたものであることとしてよい。

押出し成形や粉末プレス成形で作られたキャピラリよりも、射出成形で作られたキャピラリのほうが、焼結体の寸法精度や表面精度の良いものを得やすいからである。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリにおいては、上記光ファイバが単一モード（シングルモード）光ファイバであり、上記細孔径 d_c が、125 μm ≦ d_c ≦127 μm であり、上記細孔長さが1.2 ～8.5mm であることが好ましい。詳しくは後述するように、キャピラリ軸芯に対する被挿入ファイバの軸芯の傾斜角（倒れ）を 0.1° 以下にして、コネクタにおける光信号の伝達損失（接続損失）を少なくするのに適しているからである。

さらに、上記条件下でファイバ傾斜角0.05° 以下を確保するためには、上記細孔長さが2.3 ～6.1mm であることがより好ましい。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリにおいては、上記光ファイバが、多モード（マルチモード）光ファイバであり、上記

細孔径d_cが、126 μm ≦ d_c < 128 μm であり、上記細孔長さが、0.9 mm以上であることが好ましい。さらには、この場合の細孔長さは1.7 ～8.5mm であることがより好ましい。というのは、マルチモード光ファイバでは接続損失として許容される値がシングルモードより大きい。一般にシングルモードで許容される接続損失最大値が0.5 dB未満であるのに対し、マルチモードでは1 dB未満でよい。したがって、ファイバ傾斜角もマルチモードについては広い許容値が許され、0.2 ° 以下好ましくは0.1 ° 以下を確保したい。0.9 mm以上は傾斜角を0.2 ° 以下に確保できる値であり、1.7 ～8.5 mmは傾斜角を0.1 ° 以下に確保できる値である。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリにおいては、上記光ファイバが、多モード（マルチモード）光ファイバであり、上記細孔径d_cが、128 μm ≦ d_c < 130 μm であり、上記細孔長さが、1.4 mm以上であることが好ましい。さらには、この場合の細孔長さは2.9 ～7.5mm であることがより好ましい。上述した理由と同じ理由による。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリにおいては、上記光ファイバが、多モード（マルチモード）光ファイバであり、上記細孔径d_cが、130 μm ≦ d_c ≦ 132 μm であり、上記細孔長さが、２mm以上であることが好ましい。さらには、この場合の細孔長さは４～6.1mm であることがより好ましい。上述した理由と同じ理由による。

本発明の第二態様の光ファイバコネクタ用キャピラリにおいては、上記細孔長さと上記テーパ穴部長さとの合計が５mm～8.5mm であることが好ましい。現在採用されているキャピラリと光ファイバとの接着方法・接着剤を用いる場合には、上記範囲内において、良好な熱冷衝撃特性（後述）を得ることができるからである。

さらには、上記細孔長さと上記テーパ穴部長さとの合計は5.5～8.5mm であることがより好ましく、同長さは6～8.5mm であることが最も好ましい。光ファイバ接続作業時の不安定要素（軽度の作業不良）に対する安全率が高くなるからである。

本発明の第二態様の光ファイバコネクタ用キャピラリにおいては、上記太孔の長さが2mm以上であることが好ましい。太孔部は、ファイバ芯線と接着される部分であるが、両者の接着強度を高く保つことができ、それにより衝撃特性が良好となるからである。

本発明の第二態様の光ファイバコネクタ用キャピラリにおいては、上記テーパ穴部も焼成肌であり、細孔とテーパ穴部との境界部が加工バリ（エッジ）の無いスムーズな面となっていることが好ましい。キャピラリにファイバを挿入する際に、作業しやすく、かつ、ファイバ素線の損傷を防止できるからである。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリにおいては、接続用端面に開口する細孔のキャピラリ軸芯に対する傾斜角（θ_{max}）が、シングルモードでは 0.1° 以下、マルチモードでは 0.2° 以下であることが好ましい。コネクタにおける光信号の接続損失を低く抑えることができるからである。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリにおいては、上記細孔の内面粗さがR_a＝0．1μm以下であることが好ましい。キャピラリにファイバ素線をスムーズに挿入することができ、また、挿入されたファイバ素線の損傷を防止して素線の強度低下を防ぐことができるからである。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリにおいては、上記セラミックス焼結体がジルコニア系焼結体であり、上記細孔内面の結晶粒径が0．5μm以下であることが好ましい。さらに、上記結晶粒径は0.3 μm 以下であることがより好ましい。

ジルコニア焼結体は靱性が高く破損しにくい。結晶粒径が細かいほうが、細孔表面粗さを小さくする面からも有利である。さらに、焼成後の冷却時のクラック発生防止や焼結体の硬度を上げるためにも有利である。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリにおいては、上記テーパ穴部の拡開角度が１０～２０°であることが好ましい。キャピラリにファイバ素線を挿入しやすく、ファイバ素線損傷防止上も有利だからである。

同様の観点から、上記拡開角度は１２～１８°であることがより好ましい。さらに、同角度は、１４～１６°であることが最も好ましい。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法は、光ファイバの素線を挿通するためのストレート穴状の細孔を備えたセラミックス焼結体からなる光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法であって；セラミックス粉末とバインダとの混合物（コンパウンド）を、上記細孔成形用の成形ピンを備えた金型中に、射出成形することにより、成形体を得る射出成形工程と、この成形体からバインダを除去する脱脂工程と、脱脂された成形体を焼成して焼結体を得る焼成工程と、を含み；上記成形ピンが、上記細孔の径d_c、焼成収縮率ｓ、及び成形体の冷却・固化時の収縮率ｚから、$d'' = d_c / (s \cdot z)$ の式により決定される径ｄ”を有することを特徴とする。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法においては、射出成形時の上記成形ピンの曲りに伴う細孔の角度のズレを所定値に押えるべく、細孔長さＬを下式によって決定することとしてよい。

① シングルモードの場合；

$L \geqq 1800 (d_c - d_f)/\pi$

かつ

$L \leqq (\tan 0.1° \times d''^4 E / 6.79w)^{1/3} / sz$

② マルチモードの場合；

$L \geqq 900 (d_c - d_f)/\pi$

かつ

$L \leqq (\tan 0.2° \times d''^4 E / 6.79w)^{1/3} / sz$

d_c：細孔径

d_f：ファイバ素線径

d''：成形ピン径、$d'' = d_c / sz$

E：成形ピンヤング率

w：射出成形時にピンに作用する横荷重

s：焼成収縮率

z：成形収縮率

接続用端面における、キャピラリ軸芯に対するファイバ素線軸心のありうる最大の傾斜角θ_{max}（以下単に素線傾斜角という）は次式で表される。

$$\theta_{max} = \alpha_{max} + \beta_{max} \quad \cdots\cdots(1)$$

α_{max}：細孔軸芯に対するありうる最大傾斜角

β_{max}：素線軸芯の細孔軸芯に対するありうる最大傾斜角

ここでαは、金型成形ピンの射出成形時の撓み角がそのまま細孔軸芯の倒れになったものと考えてよい。その場合、α_{max}は、片端支持片端固定ビームと考えて（図3参照）次式で表される。（機械工学便覧改訂第5版第47頁参照）

$$\alpha_{max} = \tan^{-1} (wL''^3 / 48EI) \quad \cdots\cdots(2)$$

w：射出成形時の成形ピンにかかる横方向分布荷重、等分布荷重と考える

L″：成形ピンの細孔相当部長さ

E：成形ピン構成材のヤング率

I：成形ピンの断面二次モーメント

成形ピンは径d″の円形断面を有するので以下となる。

$I = \pi d''^{4} / 1024$ ……(3)

(3)式を(2)式に代入して以下となる。

$\alpha_{max} = \tan^{-1} (6.79wL''^{3} / d''^{4}E)$ ……(4)

ここでw（分布荷重）の値を求める方法例を説明する。

成形ピンの最大撓みy″$_{max}$は、上記撓み角を求めたのと同様の条件の下、以下となる。

$y''_{max} = wL''^{4} / 184.6\ EI = 1.77wL''^{4}/d''^{4}E$ (5)

また、y″$_{max}$は、キャピラリ実品（焼結体）における撓みy$_{max}$から以下となる。

$y''_{max} = y_{max} / (s \cdot z)$ ……(6)

s：焼成収縮率

z：成形体の冷却・固化時の線収縮率

(5)、(6)より以下となる。

$w = y''_{max} d''^{4}E / 1.77L''^{4} = y_{max} d''^{4}E/(1.77L''^{4}SZ)$ ……(7)

ここで所定条件ごとにy$_{max}$、s、zをデータ取りしておけばwを予測できる。そうなると、(4)式からα_{max}を予測できる。

一方β_{max}は、幾何的に考察すれば（図4参照）以下となる。

$\beta_{max} \fallingdotseq \tan^{-1}\{(d_c - d_f)/L\} \fallingdotseq 180(d_c - d_f)/(\pi L)$ ……(8)

d_c：細孔径

d_f：ファイバ素線径

L：細孔長さ

(1)、(4)、(8) 式より以下となる。

$$\theta_{max} = \alpha_{max} + \beta_{max}$$
$$= \tan^{-1}(6.79wL''^{3} / d''^{4}E) + 180(d_c - d_f) / (\pi L) \quad \cdots\cdots(9)$$

ここでL（L″）が短い場合は右辺第2項が支配的となり、L（L″）が長い場合は右辺第1項が支配的となるので以下と考える。というのは、αはL″の3乗に比例するからである。

① シングルモードの場合；

Lの下限値について：

$$\theta_{max} \fallingdotseq 180(d_c - d_f)/(\pi L) \leqq 0.1°$$

ゆえに $L \geqq 1800(d_c - d_f)/\pi \quad \cdots\cdots(10)$

Lの上限値について：

$$\theta_{max} \fallingdotseq \tan^{-1}(6.79WL''^{3}/d''^{4}E) \leqq 0.1°$$

ゆえに $L = L'' / (sz)$

$$\leqq (\tan 0.1° \times d''^{4}E/6.79w)^{1/3}/(sz) \quad \cdots\cdots(11)$$

② マルチモードの場合；

Lの下限値について：

$$\theta_{max} \fallingdotseq 180(d_c - d_f)/(\pi L) \leqq 0.2°$$

ゆえに $L \geqq 900(d_c - d_f)/\pi \quad \cdots\cdots(12)$

Lの上限値について：

$$\theta_{max} \fallingdotseq \tan^{-1}(6.79WL''^{3}/d''^{4}E) \leqq 0.2°$$

ゆえに $L = L'' / (sz)$

$$\leqq (\tan 0.2° \times d''^{4}E/6.79w)^{1/3}/(sz) \quad \cdots\cdots(13)$$

なお、$\theta_{max} \leqq 0.1°$ 又は0.2° は一例である。上式に基づいて、請求項4～11に対する場合の具体的計算結果については、実施例の部分において述べる。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法において

は、射出成形時の上記成形ピンの曲りに伴う細孔の角度ズレを予測し、その角度ズレを所定値以下に押えるべく、金型キャビティ内における射出成形用コンパウンドの粘性を適正値に調整することとしてもよい。

また、本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法においては、射出成形時の上記成形ピンの曲りに伴う細孔の角度ズレを予測し、その角度ズレを所定値以下に押えるべく射出速度を適正値に調節することとしてもよい。なお、スプール先端から製造部に至るスプール長とランナー長との和、ランナー部の径とフィルムゲートの厚みとの比等の金型の改良も、直接的には粘性、射出成形速度に影響を与え、それによって成形曲がりを抑えているのであって、この範疇に属することはいうまでもないことである。

上述のθ_{max}の予測式(9)において、w（成形ピン横荷重）は、コンパウンドの粘性や射出速度によって影響を受ける。したがって、成形ピン寸法が定められた後においても、コンパウンドの粘性や射出速度をコントロールすることによって、細孔の角度ズレ（α_{max}）を規定値以下にコントロールすることができる。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法においては、下式を満たす条件下で射出成形を行うこととしてもよい。

① シングルモードの場合；

$$\tan^{-1}\left[6.79L^3 s^3 z^3 \times \exp\{-A\log\eta + B)\} / (d_c^4 E)\right] + 180(d_c - d_f) / (\pi L) \leqq 0.1 \cdots\cdots (14)$$

② マルチモードの場合；

$$\tan^{-1}\left[6.79L^3 s^3 z^3 \times \exp\{-A\log\eta + B)\} / (d_c^4 E)\right] + 180(d_c - d_f) / (\pi L) \leqq 0.2 \cdots\cdots (15)$$

A：定数

η ：コンパウンドのみかけ粘性値

B ：定数

射出成形時に成形ピンに働く横荷重wとコンパウンドのみかけ粘性値ηとの間には実験的に以下の関係があることが判明した。

$$w = \exp\{-(A \log\eta + B)\} \quad \cdots\cdots(16)$$

A ：定数、一例 0.46

B ：定数、一例 2.81

つまり、上記一例の元においてはコンパウンドのみかけ粘性値を高くした方がwが小さくなる。wが小さくなるということは、成形ピンの射出成形時の曲げも小さくなるということである。したがって、ηを含む式(14)、(15)のパラメータを操作してやれば、細孔の傾斜角が小さい（すなわちファイバ素線の傾斜角の小さい）キャピラリを製造できる。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法においては、上記射出成形用コンパウンド中のセラミックス粉末の体積分率が３０～７０％であることが好ましい。セラミックス粉末の体積分率が低すぎると、成形体及び焼結体中にポアが発生しやすくなり、細孔内面の表面粗さが粗くなる。また、成形体の脱脂に要する時間が長くなる。さらに、収縮率の安定性が悪くなって焼結体の寸法精度が悪くなる。

セラミックス粉末の体積分率が高すぎると、射出成形時にコンパウンドが円滑に流れにくくなって成形体の肌荒れ（すなわち焼結体の肌荒れ）が生じる。したがって、上記範囲内が好ましい。生産の安定性のためには、セラミックス粉末の体積分率は４０～６０％がより好ましい。

表１は、種々のバインダー組成における成形体の評価をまとめたグラフである。セラミックス粉末（ZrO_2、粒径0.3 μm）

を、表の左欄に示す体積分率で配合した。この表から分かるように、ポリスチレン系、アクリル系、ワックス系のバインダーを用いて、セラミックス粉末体積分率３０～７０％の範囲内で満足すべき結果が得られた。アクリル系バインダーでセラミックス粉末体積分率４０、６０％のコンパウンドを用いた場合は、特に良好な成形体が得られた。

表 1

種々のコンパウンド組成における成形体の評価

（セラミックス=ZrO_2、粒径0.3 μm）

x	バインダー	ポア	脱脂性	収縮安定性	肌荒れ
20	ポリスチレン系	×	×	×	○
20	アクリル系	×	×	△	○
30	ポリスチレン系	△	△	△	○
30	アクリル系	△	△	○	○
40	アクリル系	○	○	○	○
60	アクリル系	○	○	○	○
70	アクリル系	○	○	○	△
70	ワックス系	○	△	○	○
80	アクリル系	○	○	○	×
80	ワックス系	○	△	○	×

○：良好　△：可　×：不可

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法においては、上記射出成形金型の成形ピンがＷＣを含む高剛性材料（ヤング率５×１０^{4}kg/mm^2 以上）から構成されていることが好まし

い。成形ピンの射出成形時における曲がりを小さくすることができるからである。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法においては、上記光ファイバがマルチモード光ファイバであり、上記成形ピンの細孔部の径が１４９～１８５μｍであることが好ましい。また、シングルモードの場合は成形ピンの細孔部の径が147 ～178 μｍが好ましい。

成形体の収縮率が２％未満であり、セラミックス粉末の体積分率が４０～６０％であり、焼結体の相対密度１００％（理論密度と同じ）の場合は、成形ピンの径が上記のようになる。なお、マルチモード光ファイバ用のキャピラリ細孔径は１２７～１３２μｍ、シングルモード光ファイバ用のキャピラリ細孔径は125.5 ～１２７μｍである。かかるピンは従来使用していたピン（約140 μｍ）より太く、そのために射出成形時のピンの曲がりを小さくすることができる。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法においては、上記セラミックス粉末の粒径が平均１μｍ以下であり、セラミックス粉末の体積分率は３０～７０％であることが好ましい。成形体、焼結体の性状を確保するためである。なお、ここで言う平均粒径とは、メディアン径（累積分布５０％の径）である。セラミックス粉末の材質としては、Y_2O_3部分安定化ZrO_2、CeO_2部分安定化ZrO_2（同一出願人による出願、平成６年３月10日出願、整理番号935513）、Al_2O_3 等を使用できる。

本発明の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法においては、上記バインダーの主成分が平均分子量１万以上の高分子化合物であることが好ましい。コンパウンドの粘性を高めるのに有効だからである。そのような高分子化合物の例としては、アクリル

系樹脂、ポリスチレン系樹脂等を挙げることができる。この中では、アクリル系樹脂が成形体の収縮率が低く、寸法安定性が良好となるので特に好ましい。

図面の簡単な説明

図１　本発明の一実施例にかかるキャピラリの断面図である。

図２　従来の光コネクタを示す断面図である。

図３　キャピラリ射出成形用ピンのたわみを示す図である。

図４　キャピラリの細孔と光ファイバ素線との傾きを表す図である。

図５　キャピラリ焼結体の細孔部の長さと最大たわみの関係を示すグラフである。

図６　キャピラリ焼結体の細孔部の長さと最大たわみ角の関係を示すグラフである。

図７　キャピラリ焼結体の細孔長さとファイバ素線の最大角度ズレθ_{max}との関係を示すグラフである。

図８　従来のフェルールを用いて作製した光ファイバ接続部の接続損失の変動を示すグラフである。

図９　本発明の第二態様の一実施例にかかる光ファイバコネクタ用キャピラリと、それに挿入される光ファイバを概念的に示す図である。

図１０　小径直管部の長さとファイバの接着強度との関係を示すグラフである。

図１１　本実施例のフェルールを用いて作製した光ファイバ接続部の接続損失の変動を示すグラフである。

図１２　比較例のフェルールを用いて作製した光ファイバ接続部の接続損失の変動を示すグラフである。

図１３　本発明のセラミックキャピラリの別実施例の断面図である。

図１４　コンパウンド粘性η（ポアズ）と成形ピンにかかる横荷重ｗ（kgf/mm^2）との関係を示すグラフである。

図１５　細孔長Ｌを変化させた時に、軸芯ずれ$\theta_{max} \leqq 0.2°$を達成しうる粘性値の領域を示すグラフである。

図１６　細孔長Ｌを変化させた時に、軸芯ずれ$\theta_{max} \leqq 0.1°$を達成しうる粘性値の領域を示すグラフである。

図１７　現在用いられる代表的な光コネクタの概略構造を示す断面図である。

図１８　従来の射出成形型の１例の断面図である。

図１９　キャピラリ太孔長とファイバー芯線保持強度との関係を示すグラフである。

実施例

以下、本発明の実施例及び比較例を説明する。まず、従来よりの細孔加工を前提としたテーパ部のないキャピラリにかかる比較例を先に説明する。

以下の条件で、比較例のキャピラリ用焼結体を製作した。

形状：図２に示す。細孔１０５が長い（10mm）のが特徴である。

製造方法：射出成形→焼成

セラミックス粉末体積分率：４１％

成形ピン材質：超硬合金

コンパウンド粘性：1.1×10^5(poise)

細孔内径は研削加工の削りしろを見込んで以下とした。

焼結体細孔内径：１００μm

成形体細孔内径：１３８μｍ

成形ピン外形：１３８μｍ

なお、成形体から焼結体に至る収縮率を７３％とした。

細孔長さは以下とした。

焼結体細孔長さ：１０．５ｍｍ

成形体細孔長さ：１４．５ｍｍ

上記条件で製作したキャピラリ用焼結体の細孔の最大たわみ（y_{max}）は27μｍであった。このデータと成形ピン径ｄ″＝138 μｍ、ピンのヤング率Ｅ＝$5.31\times10^{4}kg/mm^{2}$、合計収縮率ｓｚ＝0.73、Ｌ″＝14.5ｍｍ、を式(7)に入れて、射出成形時に成形ピンに働く横荷重ｗ＝1.1×10^{-4}kgf/ｍｍを得た。

また上記データを式(4)に代入して、細孔の傾斜角は、α_{max}＝0.42°となる（後述の図６に△で印す。）

一方ファイバ素線の細孔に対する傾斜角β_{max}は、式(8)に、細孔径d_c＝132 μｍ（マルチモード最大径）、ファイバ素線径df＝125 μｍ、Ｌ＝10.5ｍｍを代入して、β_{max}＝0.035°となる。したがって、ファイバ素線の角度ズレ（ファイバ素線のキャピラリに対する傾斜角）θ_{max}は、

$\theta_{max}=\alpha_{max}+\beta_{max}=0.42°+0.035°=0.45°$

となる。このθ_{max}の値は、シングルモードの限度値0.1°及びマルチモードの限度値0.2°よりはるかに大きな値であって、問題にならないほど悪い。

次に、細孔加工を前提としないキャピラリについて説明する。

形状例：細孔３、テーパ穴部４、太孔２を有するタイプのキャピラリの形状例を図１に示す。

材質、製造方法等：細孔加工をしないことを除いて上述の従来型の場合と同じとした。

細孔内径：以下の４タイプで考えた。

① シングル１：焼結体d_c＝ 127μm 、成形体d″＝１７４μm

② マルチ１：焼結体d_c＝ 128μm 、成形体d″＝１７５μm

③ マルチ２：焼結体d_c＝ 130μm 、成形体d″＝１７８μm

④ マルチ３：焼結体d_c＝ 132μm 、成形体d″＝１８０μm

図５はキャピラリ焼結体の細孔部の長さと最大たわみの関係を示すグラフであり、このグラフによればキャピラリ焼結体の細孔部の長さが小さくなると指数関数的にたわみy_{max}が小さくなることが分かる。なお、比較例は△で付記した。一方、図６はキャピラリ焼結体の細孔部の長さと最大たわみ角の関係を示すグラフであり、このグラフによればキャピラリ焼結体の細孔部の長さが小さくなると指数関数的にたわみ角α_{max}が小さくなることが分かる。

図７は、キャピラリ焼結体の細孔長さとファイバ素線の最大角度ズレθ_{max}との関係を示すグラフである。角度ズレθ_{max}は、

θ_{max}＝細孔傾斜角α_{max}＋ファイバ素線傾斜角β_{max}

であり、式(9)で計算できる。

wを上述の実験値とし、d_f=125μm とし、d_c=127、128、130、132 μm とした場合の角度ズレθ_{max}を図７のグラフ上に表した。①はシングル・モードd_c=125～127 μm における代表例、②のマルチ１はd_c=126～128 μm における代表例、③のマルチ２はd_c=128～130 μm における代表例、④のマルチ３は d_c=130～132 μm における代表例である。

それぞれについて上限値を代表的実施例に選んだ理由は、それらが最も厳しい条件だからである。（８）式よりファイバー素線傾斜角β_{max}は（d_c-d_f）に比例する。ファイバー素線径$d_f \fallingdotseq$ 125 μm だから、d_cが大きいほどβ_{max}は大きくなる。一方、角度ズ

レθ_{max}は（９）式のように$\theta_{max} = \alpha_{max} + \beta_{max}$で示されるから、$d_c$が大きい方が角度ズレが大きくなり、条件としては厳しくなるわけである。なお、角度ズレ上限値をシングルモードの場合0.1°、マルチモードの場合0.2°、あるいは、さらに安全に見てシングルモードの場合0.05°、マルチモードの場合0.1°とした細孔内径d_cと細孔長さＬとの好ましい関係は、前述のとおりである。

一方、光ファイバコネクタ用キャピラリの孔の寸法を決定するに際しては、熱冷衝撃をも考慮しなければならない。

特公平1-45042 コネクタ（図１７参照）では、光ファイバ芯線１０１をフランジ１０７でのみで支えるが、このような構造では熱冷衝撃（加熱と冷却と衝撃とを繰り返し加えること。）に十分耐えるとはいえない。具体例を以下に説明する。

図８は、従来のフェルールを用いて作製した光ファイバ接続部の接続損失の変動を示すグラフであり、横軸は熱冷衝撃サイクル数、縦軸は接続損失の変動を示す。上記グラフの作成条件は次のとおりである。

キャピラリ：

キャピラリの材質：ZrO_2（イットリア部分安定化、Y_2O_3のZrO_2に対する割合は5.3wt%）

焼成体の外径：2.499 ±0.0005mm

焼成体の長さ：10.5mm

小径直管部の長さ：10.0mm

小径直管部の径：125.5 ～126.0 μm

先端部の加工法：ＰＣ研磨（球面加工）

熱冷衝撃サイクル：

常温→７５℃で１００mm高さから落下→７５℃で３０分保持→

常温→－４０度で１００mm高さから落下→－４０℃で３０分保持→常温を１サイクルとする。

このクラスの接続損失の管理値は±0.2dB である。１０サンプルについて１００サイクルの試験をしたところ、８サンプルは良好であったが、２サンプルは２０サイクルを超えると接続損失が変動し始め、３０サイクルで管理値を超えてしまった。

すなわち、ｎ＝１０とサンプル数は少ないが、２０％もの不良が認められ、ファイバ芯線をフランジのみで保持する従来のコネクタは、現状の接着方法（接着剤２液タイプエポキシ樹脂３５３ＮＤ）では、信頼性に乏しい構造であると言える。

図１９は、その事情を確認したものである。フェルールに素線を露出させずに芯線のみを接着剤で固定し、引張試験を行った。その結果、フランジのみで固定したものについては２kgf 程度で剥れたのに対し、本発明の第二態様の光ファイバコネクタ用キャピラリにおいて太孔部の長さを２mm以上にしたものについては、４kgf 程度の芯線保持強度を示した。したがって、太孔部長さは２mm以上とることが好ましい。

図９は、本発明の第二態様の一実施例にかかる光ファイバコネクタ用キャピラリと、それに挿入される光ファイバを概念的に示す図である。光ファイバコネクタ用キャピラリ１の内部には、細孔３、テーパ穴部４及び太孔２が形成されている。光ファイバ１０は、ファイバ芯線１１からファイバ素線１２がむき出されている。ファイバ素線１２は、キャピラリ１の細孔３及びテーパ穴部４に挿入される。ファイバ芯線１１は、キャピラリ１の太孔２に挿入される。挿入部分には接着剤（エポキシ樹脂系等）が塗布され固定される。

図９の実施例のキャピラリの内径寸法は以下のとおりである。

太孔２の内径：１．０　～１．２ｍｍ

細孔３の内径：125 ～127 μｍ（シングル）

126 ～132 μｍ（マルチ）

細孔３の長さをL_3、テーパ穴部４の長さをL_4、L_3とL_4との合計をＬｔとする。

図１１は、本実施例のフェルールを用いて作製した光ファイバ接続部の接続損失の変動を示すグラフであり、横軸は熱冷衝撃サイクル数、縦軸は接続損失の変動を示す。上記グラフの作成条件は次のとおりである。

キャピラリの材質：上記従来例と同じ

焼成体の外径：2.499 ±0.0005mm

焼成体の長さ：10.5mm

小径直管部の長さL_3：６ｍｍ

小径直管部の径：125.5 ～128.5 μｍ

テーパ管部の長さL_4：１ｍｍ

Ｌｔ：７ｍｍ

先端部の加工法：ＰＣ研磨（球面加工）

熱冷衝撃サイクル：上記従来例と同じ

実施例は１００サイクル終了後で、全１０サンプルともに、接続損失の変動は±0.2dB 内であり良好であった。

図１２は、比較例のフェルールを用いて作製した光ファイバ接続部の接続損失の変動を示すグラフであり、横軸は熱冷衝撃サイクル数、縦軸は接続損失の変動を示す。上記グラフの作成条件は次のとおりである。

比較例１のキャピラリ：

キャピラリの材質：上記従来例と同じ

焼成体の外径：2.499 ±0.0005mm

焼成体の長さ：10.5mm

小径直管部の長さL_3：3mm

小径直管部の径：125.5 ～126.0 μm

テーパ管部の長さL_4：1mm

Lt：4mm

先端部の加工法：PC研磨（球面加工、R20±5mm）

熱冷衝撃サイクル：上記従来例と同じ

この比較例は70サイクル終了後で、10サンプル中、4サンプルは－0.2dBを超え、残り6サンプル中、1サンプルも傾向としては良くない。したがって、Ltが4mm以下では寿命の点で好ましくない。

熱冷衝撃サイクル試験を他の例も試したのでその結果を表2に示す。

表　2

	L_t	L_3	L_4	観察結果	判定
実施例1	5	3	2	50サイクルで0.1dB以内	○
実施例2	5.5	3	2.5	50サイクルで0.08dB以内	○
実施例3	6	3	3	50サイクルで0.05dB以内	○
実施例4	6	1	5	50サイクルで0.07dB以内	○
実施例5	7	1	6	50サイクルで0.07dB以内	○
実施例6	7	3	4	50サイクルで0.07dB以内	○
実施例7	7	6	1	50サイクルで0.06dB以内	○
実施例8	8.5	6	2.5	50サイクルで0.06dB以内	○
比較例1	4	3	1	30サイクルで0.3dB超	×
比較例2	10.5	10.1	0.4	50サイクルで0.3dB以上	×

表2はLtを4mmから10.5mmまで変化させ、各々接続損失の変動を調べたもので、比較例1（Lt＝4mm）は30サイクルです

でに0.3dB を超えたので判定は×、比較例２（Ｌｔ＝10.5mm）は５０サイクルで0.3dB 以上なので判定は×である。

実施例１（Ｌｔ＝5 mm）、実施例２（Ｌｔ＝5.5 mm）、実施例３、４（Ｌｔ＝6 mm）、実施例５、６、７（Ｌｔ＝7 mm）および実施例８（Ｌｔ＝8.5 mm）は良好であり、判定は○であった。

更に、ともにＬｔ＝7 mm である実施例５（L_3 ＝１mm）、実施例６（L_3 ＝3 mm）、実施例７（L_3 ＝6 mm）のいずれも判定は○であることから、Ｌ＝３mmまたはL_4 の大小に左右されずにＬｔが5 ～8.5 mmであればよい結果がえられることが分かった。

5 ～8.5 mmで接続損失の変動が低レベルに留まる理由は二つ考えられる。まず8.5 mm以下であると良いのは、芯線を保持するための太孔部を２mm以上有することができるため、ファイバー芯線を確実に保持することができ、耐衝撃構造となっているためである。

またＬｔが5 mm以上だと良いのは、図１０に示すように、ファイバ素線とフェルールとの接着強度は、ファイバ素線とフェルールが直接接着される部分の長さと比例し、なおかつ無機物同士の結合なので、熱的サイクルによって内部応力は発生するが熱劣化は生じにくい。したがって4 mmでは接着強度が繰り返し内部応力に抗するほど大きくないため問題があり、5 mm以上でよい結果が得られた。さらに図１０の関係により、5.5 mm以上、より好ましくは6 mm以上にすれば、より安全である。

したがって、光ファイバの接着強度は、小径直管部の長さL_3とテーパ管部の長さL_4との和Ｌｔに関係すると言え、このＬｔが5 ～8.5 mm、より好ましくは5.5 ～8.5 mm、さらに好ましくは6 ～8.5mm の範囲であれば、熱冷衝撃試験に耐え得るセラミックキャピラリを提供できる。また、テーパ管部を長めにとることに

より、小径直管部を短くしても熱冷衝撃に耐え得る構造で、なおかつ射出成形工程時の孔の変形が小さく、成形ピンの寿命も長くなる。

図１３は、本発明のセラミックキャピラリの別実施例の断面図であり、このセラミックキャピラリ２１は、小径直管部２３、テーパ管部２３（テーパ管部２４は第１テーパ管部２５、直管部２６及び第２テーパ管部２７からなる。）大径直管部２２が順に設けられたものであり、小径直管部２３、テーパ管部２４が接着強度の向上に寄与し、しかも小径直管部２３を充分に短くすることができる。

すなわち、テーパ管部２４は小径管部２３と大径管部２２をテーパ部分（この例では２５、２７）を含むテーパ管部であればよく、その中に１個またはそれ以上の直管部を含むことは差し支えない。

次に、射出成形用コンパウンドの粘性に着目して光ファイバコネクタ用キャピラリの製造パラメータを制御する本発明のキャピラリ製造方法について説明する。

ファイバ芯線の角度ズレ θ_{max} は上述(9)式より以下で与えられる。

$$\theta_{max} = \alpha_{max} + \beta_{max}$$
$$= \tan^{-1}(6.79wL''^{3} / d''^{4}E) + 180(d_c - d_f)/\pi L \quad \cdots\cdots(9)$$

この式に、ｗとηとの関係を示す実験式である上述の(16)式を代入する。

$$w = \exp\{-(A \log + B)\} \quad \cdots\cdots(16)$$

その結果がシングルモードにおいては(14)式、マルチモードにおいては(15)式である。

$$\tan^{-1}\ [6.79L^{3}s^{3}\ z^{3} \times \exp\{-(A \log\eta + B)\} / d_c^{4}$$

$$E] + 180 (d_c - d_f) / \pi L \leqq 0.1 \quad \cdots\cdots(14)$$

$$\tan^{-1} [6.79L^3 s^3 z^3 \times \exp \{ - (A \log \eta + B) \} / d_c^4$$

$$E] + 180 (d_c - d_f) / \pi L \leqq 0.2 \quad \cdots\cdots(15)$$

A：定数

η：コンパウンドのみかけ粘性値

B：定数

この１４、１５式では、望ましいθとしてシングルモードに関しては≦0.1°、マルチモードに関しては≦0.2°としてある。これらの式の関係を具体的に見てみる。

上記wの実験式を具体的に確定するため、本発明の実施例においては以下の手法によりη（コンパウンドのみかけ粘性値）を求めた。コンパウンドの温度を、射出成形機のシリンダー内におけるコンパウンドの温度よりも３０℃低い温度、具体的には１２０℃とした。そして、荷重２０（kgf/mm^2）をコンパウンドにかけて、径１mm×長さ１mmの毛細管を通過させた。その時の単位時間あたりのコンパウンドの通過量を測定した。その測定値から、ニュートン流体近似でηを算出した。

次に、このηとwとの関係を以下条件の実験によって求めた。使用セラミックス粉末：材質ZrO_2、平均粒径 0.3μm、体積分率４１％

バインダー：アクリル系樹脂、平均分子量２万

成形ピン径： 0.180mm

コンパウンド温度：シリンダー部１５０℃、キャビティ部推定１２０℃

射出速度：５％

図１４は、コンパウンド粘性η（ポアズ）と成形ピンにかかる横荷重w（kgf/mm^2）との関係を示すグラフである。この場合は、

上記(13)式の定数は、A＝0.46、B＝2.81であった。

$$w = \exp\{-(0.46 \log \eta + 2.81)\} \quad \cdots\cdots(15)$$

以上の式を用いて望ましいコンパウンド粘性値を求める。

マルチモードの場合

成形体の収縮率 z ＝0.99、

成形ピンヤング率 $E = 5.31 \times 10^4$ kg/mm^2、

L ＝10.5mm、

d_c＝0.1285mm、

d_f＝0.125 mm、

これらの値を(12)式左辺第一項に代入するとともに、セラミックス体積分率を0.3 ～0.7 、η を 1×10^4 ～ 1×10^6 ポアズの範囲に振って、α_{max} を求めた。表3に、その結果を示す。

表　3

セラミックス 体積分率 x	コンパウンド 粘性値 η	α max	判定
0．3	1×10^4	0.45°	×
0．3	1×10^5	0.19°	×
0．3	1.2×10^5	0.16°	○
0．3	1×10^6	0.05°	○
0．4	1×10^4	0.49°	×
0．4	1×10^5	0.23°	×
0．4	1.5×10^5	0.16°	○
0．4	1×10^6	0.06°	○
0．5	1×10^5	0.24°	×
0．5	1.7×10^5	0.16°	○
0．5	1×10^6	0.06°	○
0．6	1×10^5	0.26°	×
0．6	1.9×10^5	0.16°	○
0．6	1×10^6	0.07°	○
0．7	1×10^5	0.27°	×
0．7	2.2×10^5	0.16°	○
0．7	1×10^6	0.07°	○

この表3から、コンパウンド粘性値ηを$\eta \geqq 2.2 \times 10^5$ poiseとすれば、$0.3 \leqq x \leqq 0.7$のどんなセラミックス体積分率xに対してもα_{max}がL＝10.5mmにおける望ましい値$\alpha_{max} \leqq 0.16°$（∵

β_{max} がL＝10.5mmの時0.04°）に収まることがわかる。また、射出成形性を考えたときのより好ましいセラミック体積分率である0.4 ≦ x ≦0.6 に対しては、x_{max} ≦0.16となるコンパウンド粘性値ηとなりうる幅はさらに広くなり$\eta \geqq 1.9 \times 10^5$poiseでもよいことになる。

シングルモードの場合

d_c＝0.127mm 、d_f＝0.125 mm、L＝10.5mm、その他はマルチモードの場合と同様にして、計算した。表4にその結果を示す。

表　4

セラミックス 体積分率 x	コンパウンド 粘性値 η	α max	判定
0．3	1×10^5	0.17 °	×
0．3	4.0×10^5	0.089 °	○
0．4	1×10^5	0.19°	×
0．4	5.0×10^5	0.089 °	○
0．5	1×10^5	0.20°	×
0．5	6.0×10^5	0.089 °	○
0．6	1×10^5	0.21°	×
0．6	6.6×10^5	0.089 °	○
0．7	1×10^5	0.21°	×
0．7	7.2×10^5	0.089 °	○

この表4から、コンパウンド粘性値$\eta \geqq 7.2 \times 10^5$ poise とす

れば、0.3 ≦ x ≦0.7 のどんなセラミックス体積分率 x に対しても α_{max} がL＝10.5mmにおける望ましい値 $\alpha_{max} \leqq 0.089°$（∵ β_{max} がL＝10mmの時 0.011°）に収まることがわかる。また、射出成形性を考えたときのより好ましいセラミック体積分率である0.4 ≦ x ≦0.6 に対しては、$x_{max} \leqq 0.089$ となるコンパウンド粘性値 η となりうる幅はさらに広くなり $\eta \geqq 1.9 \times 10^5$ poiseとなる。

以上のように、細孔長Lの値を変化させる代わりに、コンパウンド粘性値を変化させればやはり形成時の曲がりを抑えることができ、それによって光ファイバコネクタ突合せ時の軸芯ずれを未然に防ぎ得るフェルールを提供できることを示した。

次に、細孔長Lと、コンパウンド粘性値 η を同時に適正化していく場合について示すことにする。

マルチモードの場合

d_c＝0.1285mm

d_f＝0.125 mmとした。

表5は細孔長Lを変化させた時に、軸芯ずれ $\theta_{max} \leqq 0.2°$ を達成しうる粘性値の範囲を示す。図15はそれをグラフ上の領域で示したものである。

表　5

細孔長さ L	最大倒れ角 β max	許容たわみ角 α max	コンパウンド　粘性　許容値 η	
mm	°	°	poise	
			$0.4 \leqq x \leqq 0.6$	$0.3 \leqq x \leqq 0.7$
10.5	0.04	0.16	1.9×10^5 以上	2.2×10^5 以上
7	0.06	0.14	1.5×10^4 以上	1.7×10^4 以上
4	0.10	0.10	8.2×10^2 以上	9.3×10^2 以上
3	0.13	0.07	2.7×10^2 以上	3.1×10^2 以上
2	0.20	———	———	———

この結果から以下のことがわかる。まずLを小さくしていくと β_{max} が大きくなる。そしてL＜2mmになると、$\beta_{max} > 0.2°$ となる。$\theta_{max} = \alpha_{max} + \beta_{max}$、$\alpha_{max} \geqq 0$ であるから、この場合任意の粘性値に対し、$\theta_{max} > 0.2°$ となり、軸心ずれを適正値に抑えることができなくなる。

L＞2mmにおいては、Lを小さくすると β_{max} が大きくなり α_{max} 許容値は厳しくなるものの、(13)式より α_{max} はLの3乗に比例するため、(15)式における粘性値 η の許容範囲はかえって広がる。

したがってL＞2mmにおいてはL→小ほど粘性条件の指定が容易になる。一般にキャビティ内に入る時のコンパウンドの粘性は $1 \times 10^4 \sim 10^5$ poise 程度が適当であり、それをこえるとショートショート等を生じやすく成形はきわめて困難になる。また粘性

が低すぎると成形時に気泡等を巻き込みやすくなる。またバインダーの選定条件も限定されてくる。このようなことから、粘性条件を $1 \times 10^4 \sim 10^5$ poiseに指定し得る $2 < L \leqq 9.6$ mmで射出成形すれば、より曲がりの少ないキャピラリーを製造できることになる。

シングルモードの場合

$d_c = 0.126$ mm

$d_f = 0.125$ mm

表6は細孔長Lを変化させた時に、軸芯ずれ $\theta_{max} \leqq 0.1°$ を達成しうる粘性値の範囲を示す。図16はそれをグラフに上の領域で示したものである。

表 6

シングルモード角度ずれ規格値を満たす粘性条件

細孔長さ L	α max （規格値）	コンパウンド粘性値 η
mm		poise
10.5	0.089°	7.2×10^5 以上
9	0.087°	3.5×10^5 以上
7.5	0.085°	1.2×10^5 以上
6	0.080°	3.2×10^4 以上
4.5	0.074°	1.4×10^4 以上
3	0.061°	1.5×10^3 以上
1.5	0.023°	1.7×10^2 以上

この結果から以下のことがわかる。マルチモードの場合と同様にLを小さくしていくと β_{max} が大きくなり、$L < 1.1$ mmになる

と、$\beta_{max} > 0.1°$ となる。したがってL＜1.1 mmでは任意の粘性に対して$\theta_{max} > 0.1°$ となり、軸芯ずれを適正値に抑えることはできなくなる。

L＞1.1 mmにおいては、図16に示すように、L→小ほど粘性条件の指定が容易になる。マルチモードの場合と同様の理由で、粘性設定条件は10^4 ～10^5poiseが適当と考えられ、そのためには1.1 ＜L≦7.2 mmとすることが好ましい。

次に、種々のバインダー系における組成と射出温度（シリンダー温度）、同温度－30℃（想定キャビティ温度）における粘性値を表7に示す。

表 7

セラミック体積分率 x	有機添加物構成比（%） アクリル系	ワックス系	スチレン系	低分子	セラミック粒径（μm）	射出温度（℃）	粘性（poise）
0.47	－	64.6	22.8	12.6	0.95	180	5×10^3
0.60	－	86.9	－	13.1	0.95	110	2×10^3
0.56	89.7	－	－	10.3	0.95	140	1×10^4
0.40	93.7	－	－	6.3	0.95	110	4×10^5
0.30	95.3	－	－	4.7	0.95	100	4×10^6
0.53	66.6	14.6	12.5	6.3	0.3	150	1×10^4
0.53	72.9	25.0	－	2.1	0.3	150	6×10^4
0.40	65.9	31.8	－	2.3	0.3	100	2×10^4
0.53	89.7	－	－	10.3	0.3	160	1×10^5
0.40	93.7	－	－	6.6	0.3	120	4×10^6
0.40	66.6	31.2	－	2.1	0.07	150	1×10^5
0.35	89.1	－	－	8.9	0.07	160	1×10^6
0.30	93.7	－	－	6.3	0.07	140	5×10^6

表７より以下がわかる。

① セラミックスの粒径を小さくすると、粘性がきわめて高くなるため、セラミックスの体積分率を小さくしなければならない。粘性が10^5 poise 以上になると成形時にショートショートが生じる等のおそれがあり、10^6poiseをこえると成形条件をきわめて適正に合わせないと実際にショートショートが生じた。

② コンパウンドの粘性値を高くするには、アクリル系樹脂のような平均分子量１万を超えるような高分子材料を多く添加するのが効果的である。特にアクリル樹脂を用いた場合には成形収縮率が0.6 %以下と小さくなる傾向があり、寸法精度上他の平均分子量１万を越える高分子材料よりも好ましいといえる。

③ シングルモードの場合には、Ｌ＝1.5 ～３mmでは、表７のどのコンパウンドを用いても、ファイバ素線の角度ズレに影響はない。Ｌ＝３mm以上では、アクリル系樹脂を主成分にしたコンパウンドを用いることが好ましい。さらに、Ｌ＝10.5mmの場合には、$\eta \geqq 7.2 \times 10^5$ poise の必要があるので、平均粒径0.07μm のセラミックス粉末を用いた場合でも、バインダー有機添加物中８０%以上はアクリル系樹脂とする必要がある。

マルチモードの場合には、Ｌ＝２～４mmでは表７のどのコンパウンドを用いても、ファイバー素線の角度ずれに影響はない。Ｌ＝４mm以上ではアクリル系樹脂を主成分にしたコンパウンドを用いることが好ましい。さらにＬ＝10.5mmでは$\eta \geqq 2 \times 10^5$ poise の必要があるので、平均粒径0.07μm のセラミックス粉末を用いた場合でも、バインダー有機添加物中７０%以上はアクリル系樹脂とする必要がある。

代表的な製造条件例を述べる。

キャピラリ形状：シングルモード、細孔長さ３mm、テーパ穴部

6mm、全長10.5mm

調合：

加水分解法により得られた5.3wt %Y_2O_3添加ZrO_2粉末（平均粒径0.07μm）とバインダーとを、セラミック粉末の体積比が40～50vol%となるように調合した。バインダーには成形剤としては主としてアクリル系樹脂を用いた。また可塑剤としてＤＢＰ、滑剤としてワックスも添加した。

混練：

前記組成物を、100 ～150 ℃で混合、60～80℃で練成、という工程を１～５回行い、混練物を作成した。

造粒：

前記混練物をペレタイザーを用いて造粒した。

成形：

前記造粒物を、シリンダー温度 120～160 ℃、金型設定温度 20～40℃で、射出圧力900 ～1800kg／cm^2 、保圧圧力180 ～800 kg／cm^2 、保圧時間0.5 ～5 秒射出成形した。他の成形条件はセラミックの種類や形状により、クラック、ひけ、ショートショート、ウェルド、フローマーク等の欠陥を生じない条件を選んで成形した。その際スプールから製品部に至るスプール長とランナー長との和は50～１００mm、ランナー部の径とフィルム・ゲートの厚みとの比は1.5 ～5 が好ましい。

脱脂：

加圧脱脂炉を用い脱脂した。脱脂時の昇温は、180 ～ 230℃程度で低分子成分をゆっくり分解させるためにゆっくり昇温し、さらにＴＧ－ＤＴＡ曲線でもっとも変化の大きい 250℃付近では温度保持も行い、クラック、ひび割れ、ボイド生成等が生じないようにした。それぞれの時間については、形状により異なり、寸法

の大きいテストピースではキャピラリよりも長い時間をかけて昇温した。

焼成：

大気雰囲気下、1300～1500℃×２Hr焼成した。昇温速度は50～200 ℃/h、降温時は800 ℃まで50～200 ℃/hで降下させ、その後炉冷した。

以上の説明から明らかなように本発明は以下の効果を発揮する。

① 加工コストの低い光ファイバコネクタ用キャピラリを提供することができる。

② 光ファイバの挿入が容易で、挿入時にファイバを傷つけるおそれがない光フ ァイバコネクタ用キャピラリを提供することができる。

③ 熱冷衝撃特性、耐衝撃特性が良好なキャピラリを提供できる。

請　求　の　範　囲

1．２本の光ファイバの端面同士を突き合わせ、両光ファイバ間に光信号を伝達する光コネクタに用いられるキャピラリであって；

筒状のセラミックス焼結体からなり、

光ファイバの素線を挿通するための、該光ファイバ素線外径よりもわずかに大きい内径を有するストレート穴状の細孔と、この細孔が開口する接続用端面と、を有し；

この細孔内面が実質的に焼成肌である光ファイバコネクタ用キャピラリ。

2．２本の光ファイバの端面同士を突き合わせ、両光ファイバ間に光信号を伝達する光コネクタに用いられる、筒状のセラミックス焼結体からなるキャピラリであって；

光ファイバの素線を挿通するための、該光ファイバ素線外径よりもわずかに大きい内径を有するストレート穴状の細孔と、この細孔が開口する接続用端面と、

細孔の反接続用端面側に、細孔と同軸状に、徐々に拡開しつつ延びるテーパ穴部と、

このテーパ穴部と同軸上に連なる、光ファイバ芯線を挿通するための、ストレート穴状の太孔と、を有し；

上記細孔内面が実質的に焼成肌である光ファイバコネクタ用キャピラリ。

3．上記キャピラリを構成するセラミックス焼結体用の成形体が、セラミックス粉末とバインダとの混合物を射出成形することにより成形されたものである請求項１又は２記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

4．上記光ファイバが単一モード（シングルモード）光ファイバであり、上記細孔径d_cが、125 $\mu m \leqq d_c \leqq 127$ μm であり、

上記細孔長さが1.2 ～8.5mm である請求項１、２又は３記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

5．上記光ファイバがシングルモード光ファイバであり、

上記細孔径d_cが、125 $\mu m \leqq d_c \leqq 127$ μm であり、

上記細孔長さが2.3 ～6.1mm である請求項１，２又は３記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

6．上記光ファイバが、多モード（マルチモード）光ファイバであり、

上記細孔径d_cが、126 $\mu m \leqq d_c < 128$ μm であり、

上記細孔長さが、0.9mm 以上である請求項１、２記載又は３記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

7．上記光ファイバが、マルチモード光ファイバであり、

上記細孔径d_cが、126 $\mu m \leqq d_c < 128$ μm であり、

上記細孔長さが、1.7 ～8.5mm である請求項１、２記載又は３記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

8．上記光ファイバが、マルチモード光ファイバであり、

上記細孔径d_cが、128 $\mu m \leqq d_c < 130$ μm であり、

上記細孔長さが、1.4mm 以上である請求項１、２記載又は３記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

9．上記光ファイバが、マルチモード光ファイバであり、

上記細孔径d_cが、128 $\mu m \leqq d_c < 130$ μm であり、

上記細孔長さが、2.9 ～7.5mm である請求項１、２記載又は３記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

１０．上記光ファイバが、マルチモード光ファイバであり、

上記細孔径d_cが、130 μm ≦ d_c ≦132 μm であり、

上記細孔長さが、2mm以上である請求項1、2記載又は3記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

11．上記光ファイバが、マルチモード光ファイバであり、

上記細孔径d_cが、130 μm ≦ d_c ≦132 μm であり、

上記細孔長さが、4～6.1mm である請求項1、2記載又は3記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

12．上記細孔長さと上記テーパ穴部長さとの合計が5mm～8.5mmである請求項2～11いずれか1項記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

13．上記細孔長さと上記テーパ穴部長さとの合計が5.5 mm～8.5mm である請求項2～11いずれか1項記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

14．上記細孔長さと上記テーパ穴部長さとの合計が6mm～8.5mmである請求項2～11いずれか1項記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

15．上記太孔の長さが2mm以上である請求項2～14いずれか1項記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

16．上記テーパ穴部も焼成肌であり、細孔とテーパ穴部との境界部が加工バリの無いスムーズな面となっている請求項2～15いずれか1項記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

17．上記光ファイバがシングルモード光ファイバであり、

接続用端面に開口する細孔のキャピラリ軸芯に対する傾斜角（α_{max}）が0．1°以下である請求項1～5及び12～16いずれか1項記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

18．上記光ファイバが、マルチモード光ファイバであり、

接続用端面に開口する細孔のキャピラリ軸芯に対する傾斜角（

α_{max}）が０．２°以下である請求項１～３及び６～１６いずれか１項記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

１９．上記細孔の内面粗さがR_a＝０．１μｍ以下である請求項１～１８いずれか１項記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

２０．上記セラミックス焼結体がジルコニア系焼結体であり、上記細孔内面の結晶粒径が０．５μｍ以下である請求項１～１９いずれか１項記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

２１．上記セラミックス焼結体がジルコニア系焼結体であり、上記細孔内面の結晶粒径が０．３μｍ以下である請求項１～１９いずれか１項記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

２２．上記テーパ穴部の拡開角度が１０～２０°である請求項２～２１いずれか１項記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

２３．上記テーパ穴部の拡開角度が１２～１８°である請求項２～２１いずれか１項記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

２４．上記テーパ穴部の拡開角度が１４～１６°である請求項２～２１いずれか１項記載の光ファイバコネクタ用キャピラリ。

２５．光ファイバの素線を挿通するためのストレート穴状の細孔を備えたセラミックス焼結体からなる光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法であって；

セラミックス粉末とバインダとの混合物（コンパウンド）を、上記細孔成形用の成形ピンを備えた金型中に、射出成形することにより、成形体を得る射出成形工程と、

この成形体からバインダを除去する脱脂工程と、

脱脂された成形体を焼成して焼結体を得る焼成工程と、を含み；

上記成形ピンが、

上記細孔の径d_c、焼成収縮率s、及び成形体の冷却・固化時の収縮率zから、

$d'' = d_c / (s \cdot z)$

の式により決定される径d"を有する光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

26．射出成形時の上記成形ピンの曲りに伴う細孔の角度のズレを所定値に押えるべく、細孔長さLを下式によって決定する請求項25記載のシングルモード光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

$L \geqq 1800 (d_c - d_f) / \pi$

かつ

$L \leqq (\tan 0.1° \times d''^4 E / 6.79w)^{1/3} / (sz)$

d_c: 細孔径

d_f: ファイバ素線径

d": 成形ピン径、$d'' = d_c/(sz)$

E: 成形ピンのヤング率

w: 射出成形時にピンに作用する横荷重

s: 焼成収縮率

z: 成形収縮率

27．射出成形時の上記成形ピンの曲りに伴う細孔の角度のズレを所定値に押えるべく、細孔長さLを下式によって決定する請求項25記載のマルチモード光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

$L \geqq 900 (d_c - d_f) / \pi$

かつ

$L \leqq (\tan 0.2° \times d''^4 E / 6.79w)^{1/3} / (sz)$

28．射出成形時の上記成形ピンの曲りに伴う細孔の角度ズレを

予測し、その角度ズレを所定値以下に押えるべく、金型キャビティ内における射出成形用コンパウンドの粘性を適正値に調整する請求項２５記載の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

２９．射出成形時の上記成形ピンの曲りに伴う細孔の角度ズレを予測し、その角度ズレを所定値以下に押えるべく射出速度を適正値に調節する請求項２５記載の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

３０．下式を満たす条件下で射出成形を行う請求項２５記載のシングルモード光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

$$\tan^{-1}\left[6.79\,L^3\,s^3\,z^3\times\exp\{-(A\log\eta+B)\}/(d_c{}^4E)\right]+180\,(d_c-d_f)/(\pi L)\leqq 0.1$$

A：定数

η：コンパウンドのみかけ粘性値

B：定数

３１．下式を満たす条件下で射出成形を行う請求項２５記載のマルチモード光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

$$\tan^{-1}\left[6.79\,L^3\,s^3\,z^3\times\exp\{-(A\log\eta+B)\}/(d_c{}^4E)\right]+180\,(d_c-d_f)/(\pi L)\leqq 0.2$$

３２．上記射出成形用コンパウンド中のセラミックス粉末の体積分率が３０～７０％である請求項２５～３１記載の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

３３．上記射出成形用コンパウンド中のセラミックス粉末の体積分率が４０～６０％である請求項２５～３１記載の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

３４．上記射出成形金型の成形ピンがＷＣを含む高剛性材料（ヤング率$5\times10^4\,kg/mm^2$以上）から構成されている請求項２５

～３３記載の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

３５．上記光ファイバがマルチモード光ファイバであり、上記成形ピンの細孔部の径が１４９～１８５μｍである請求項２５～３４記載の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

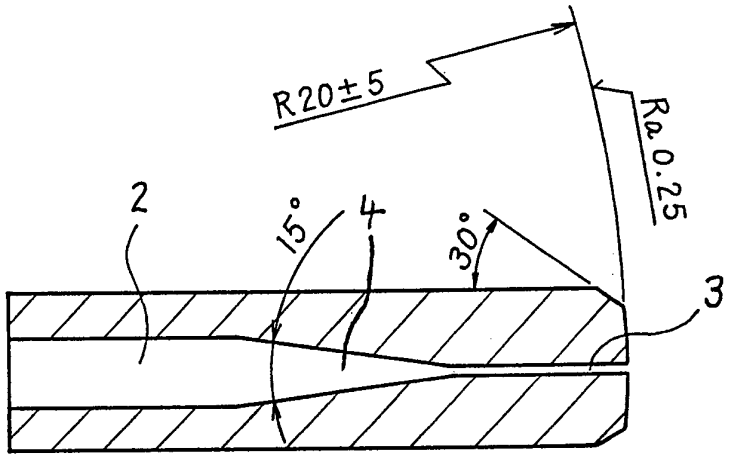
３６．上記光ファイバがシングルモード光ファイバであり、上記成形ピンの細孔部の径が１４７～１７８μｍである請求項２５～３４記載の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

３７．上記セラミックス粉末の粒径が平均１μｍ以下であり、セラミックス粉末の体積分率は３０～７０％である請求項２５～３６記載の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

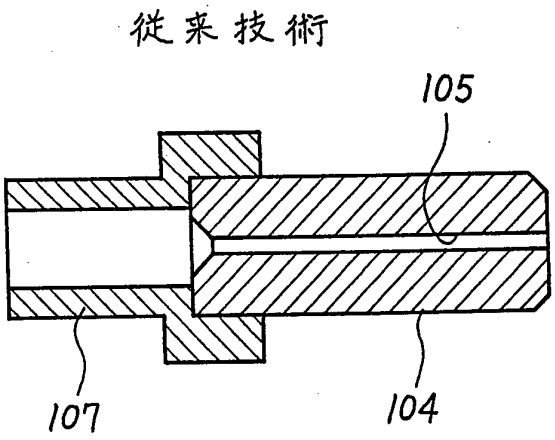
３８．上記バインダーの主成分が平均分子量１万以上の高分子化合物である請求項２５～３７記載の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

３９．上記バインダーの主成分がアクリル樹脂である請求項３８記載の光ファイバコネクタ用キャピラリの製造方法。

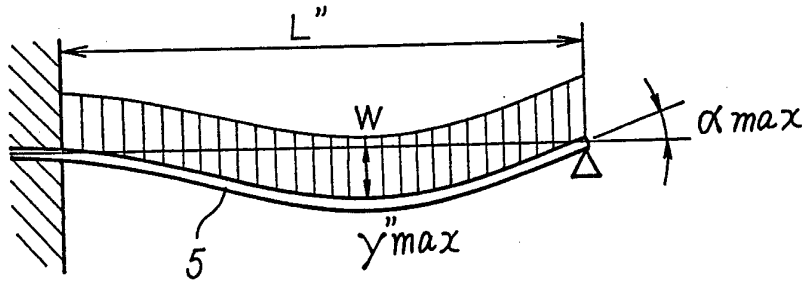
【図1】



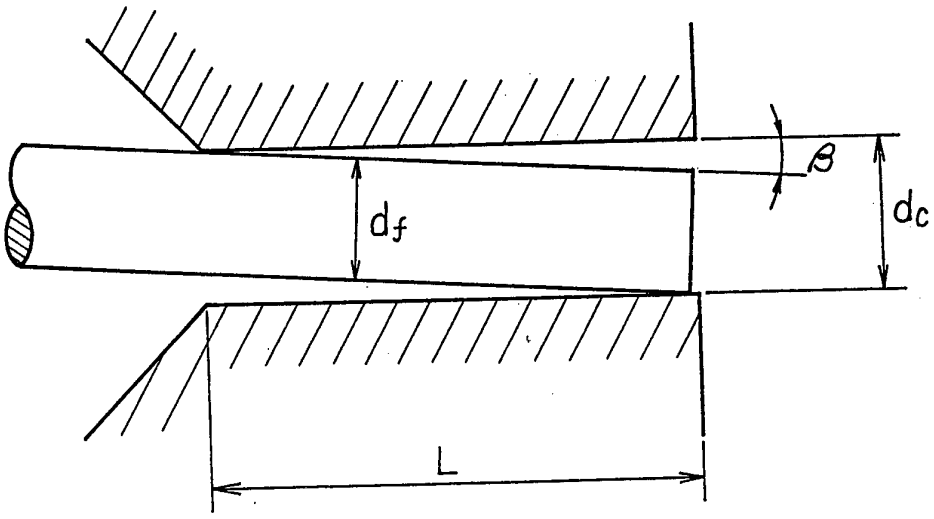
【図2】



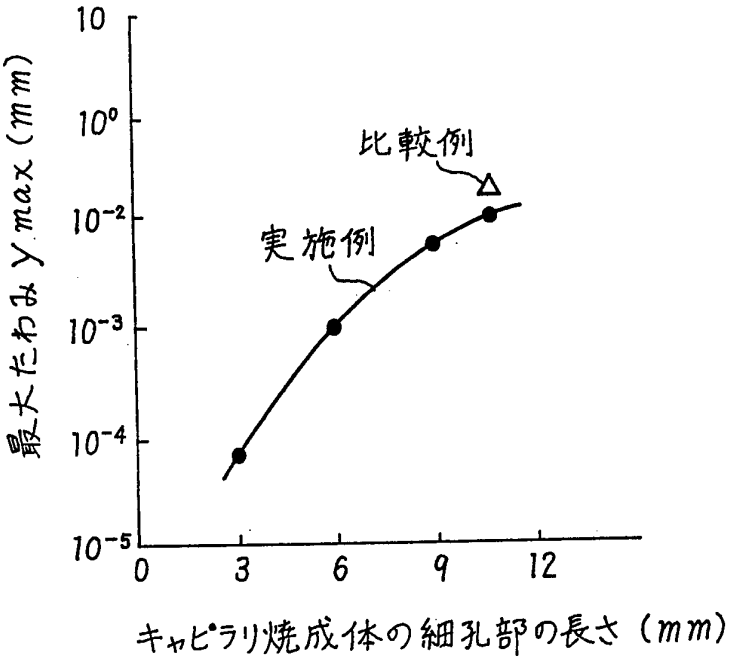
【図3】



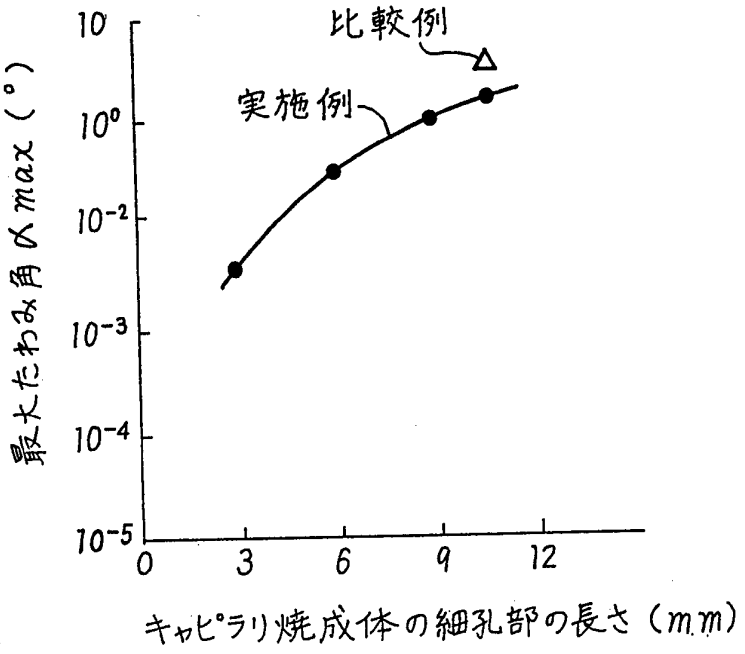
【図4】



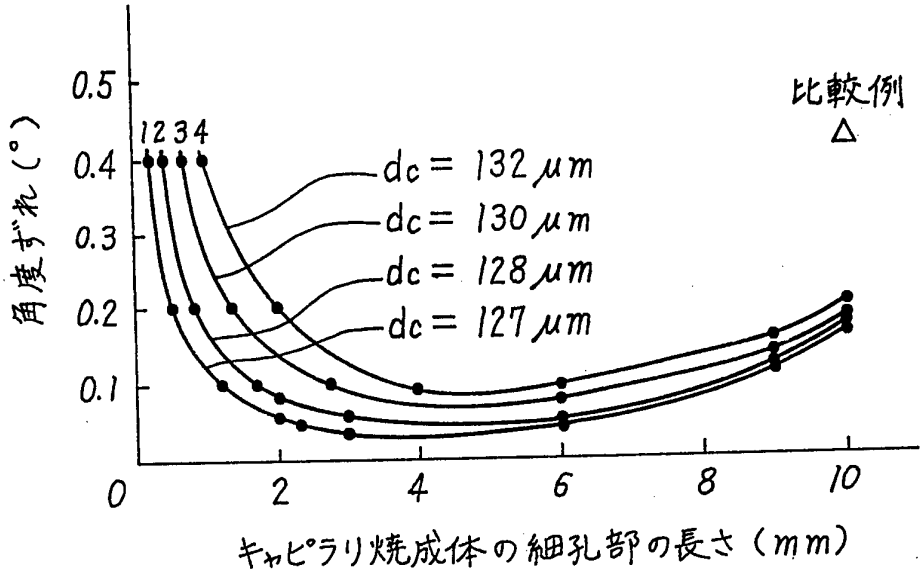
【図5】


10
10^0
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
0
3
6
9
12
比較例
実施例
最大たわみ Y max (mm)
キャピラリ焼成体の細孔部の長さ（mm）

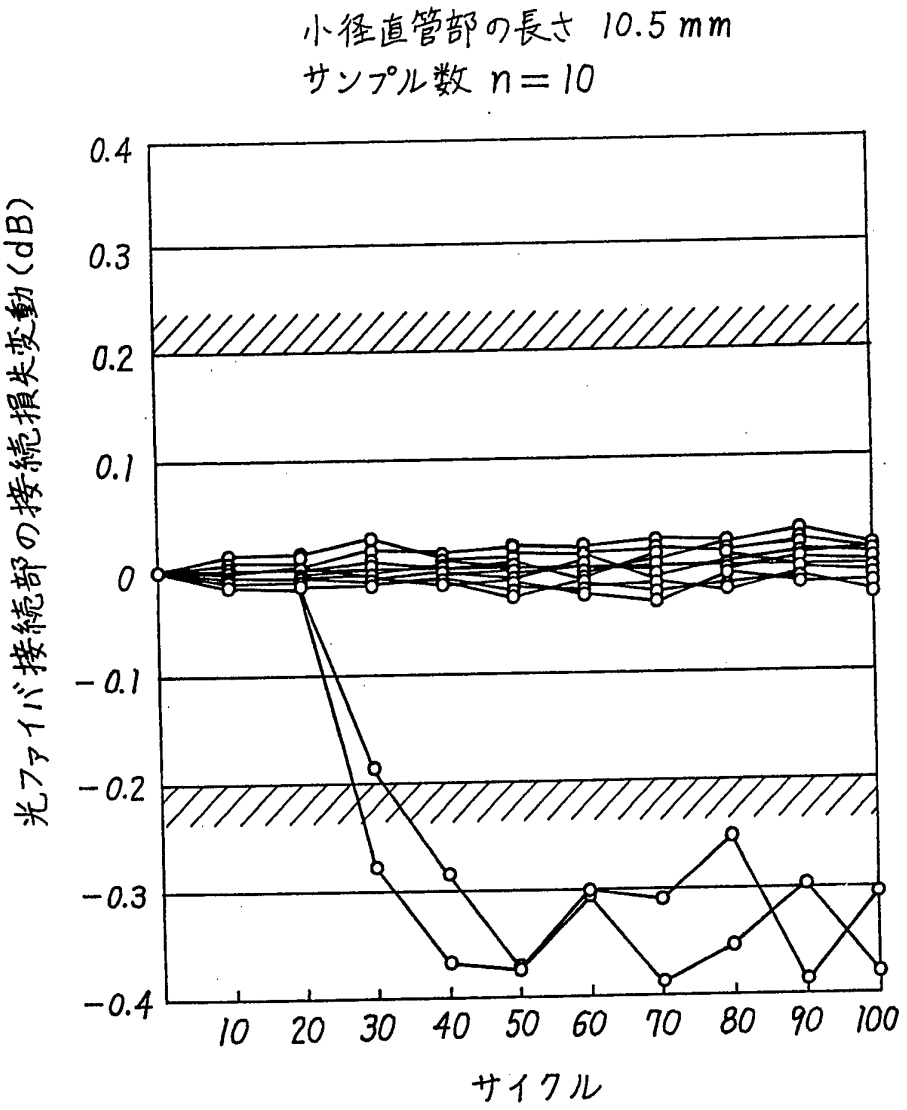
【図6】


10
10^0
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
0
3
6
9
12
比較例
実施例
最大たわみ角 θ max (°)
キャピラリ焼成体の細孔部の長さ（mm）

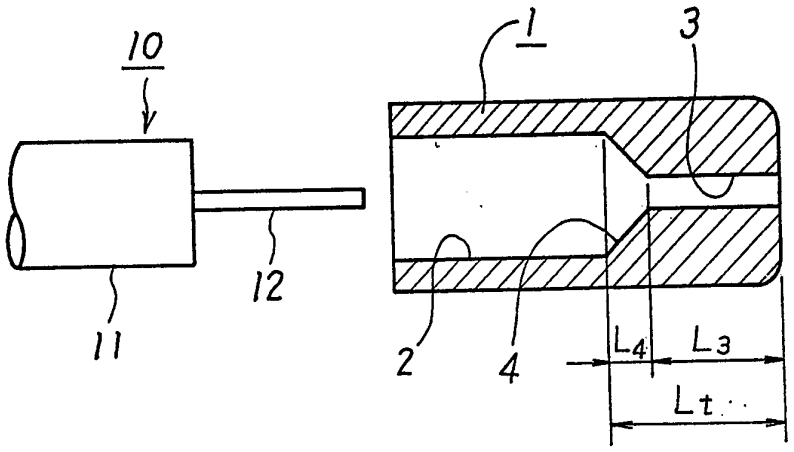
【図7】


比較例
△
1 2 3 4
dc = 132 μm
dc = 130 μm
dc = 128 μm
dc = 127 μm
角度ずれ（°）
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
2
4
6
8
10
キャピラリ焼成体の細孔部の長さ（mm）

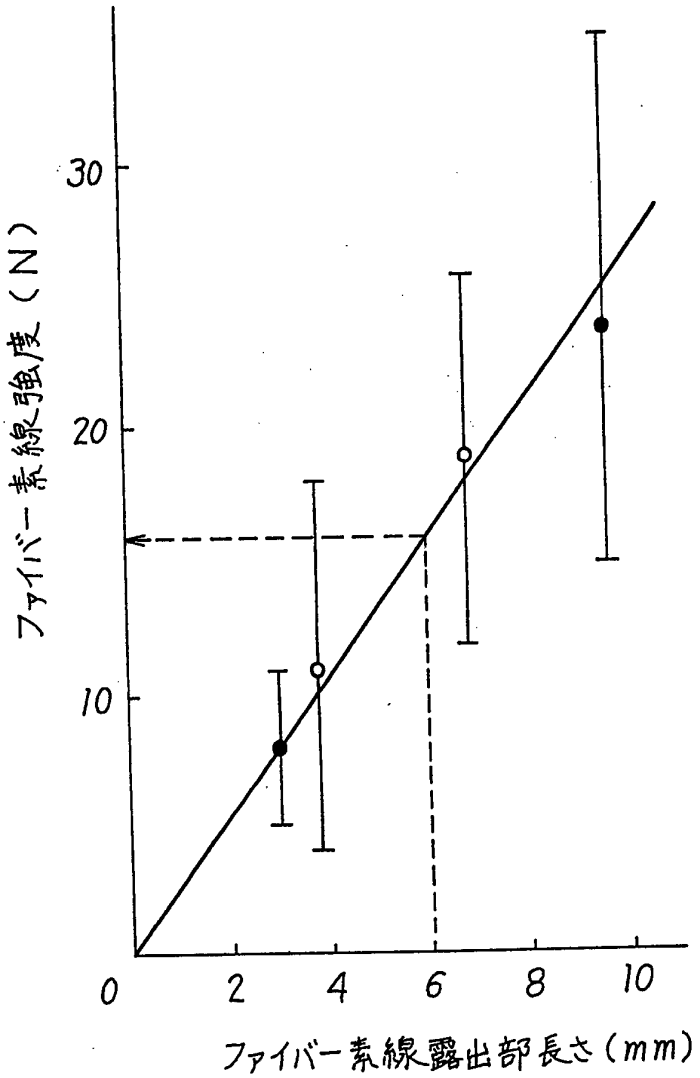
【図8】


小径直管部の長さ 10.5 mm
サンプル数 n＝10
光ファイバ接続部の接続損失変動（dB）
0.4
0.3
0.2
0.1
0
−0.1
−0.2
−0.3
−0.4
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
サイクル

【図9】

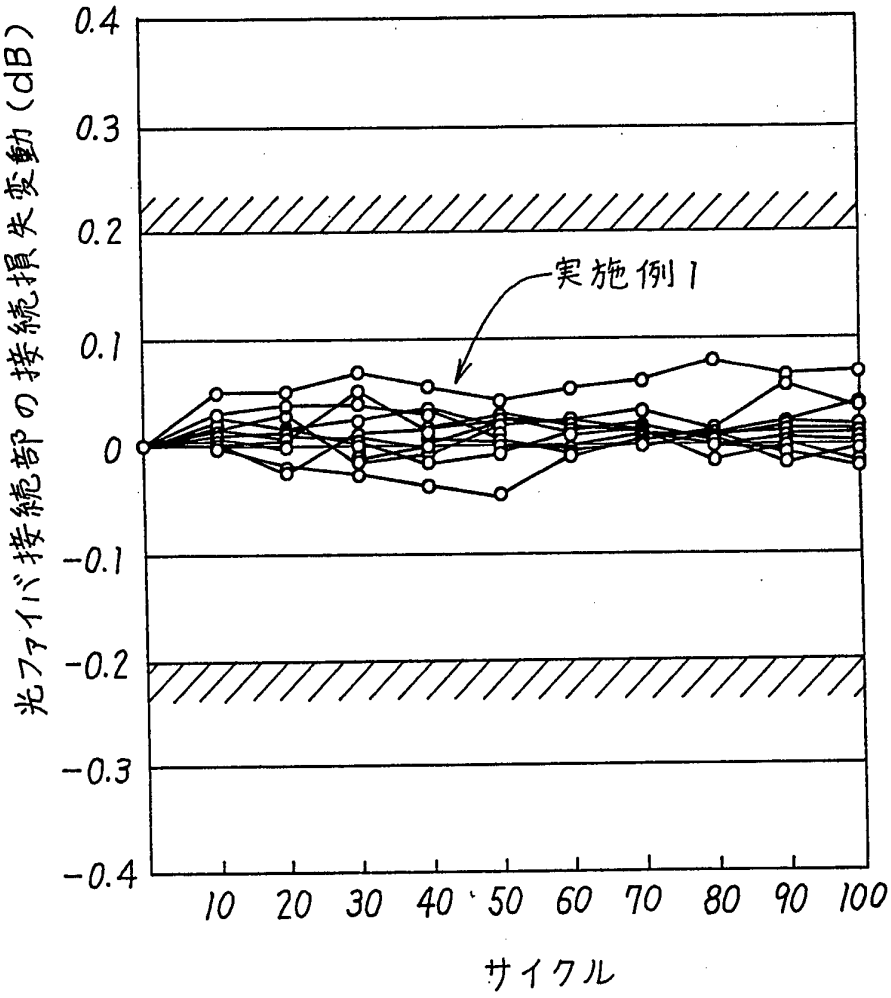

10
11
12
1
2
3
4
L4
L3
Lt

【図10】



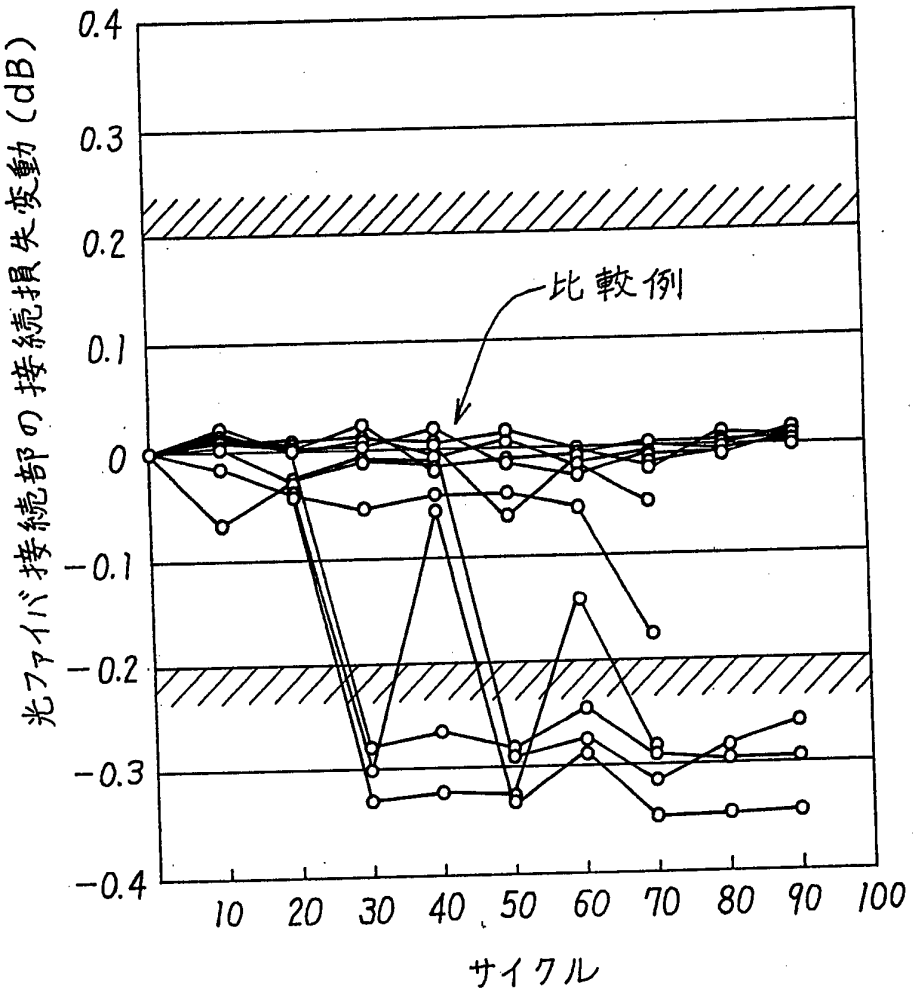
【図11】

小径直管部の長さ $L_3 = 6mm$
テーパ管部の長さ $L_4 = 1mm$
$L_t = L_3 + L_4 = 7mm$
サンプル数 $n = 10$

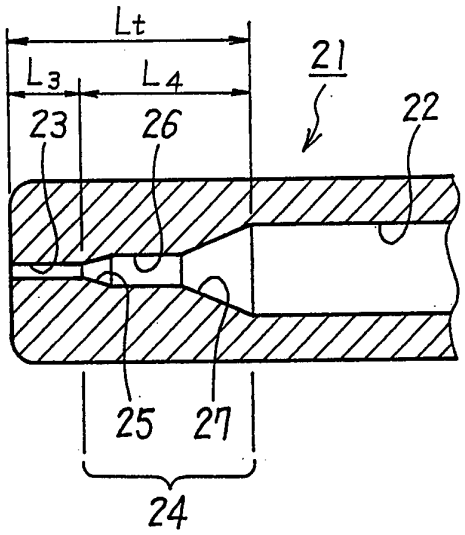


【図12】

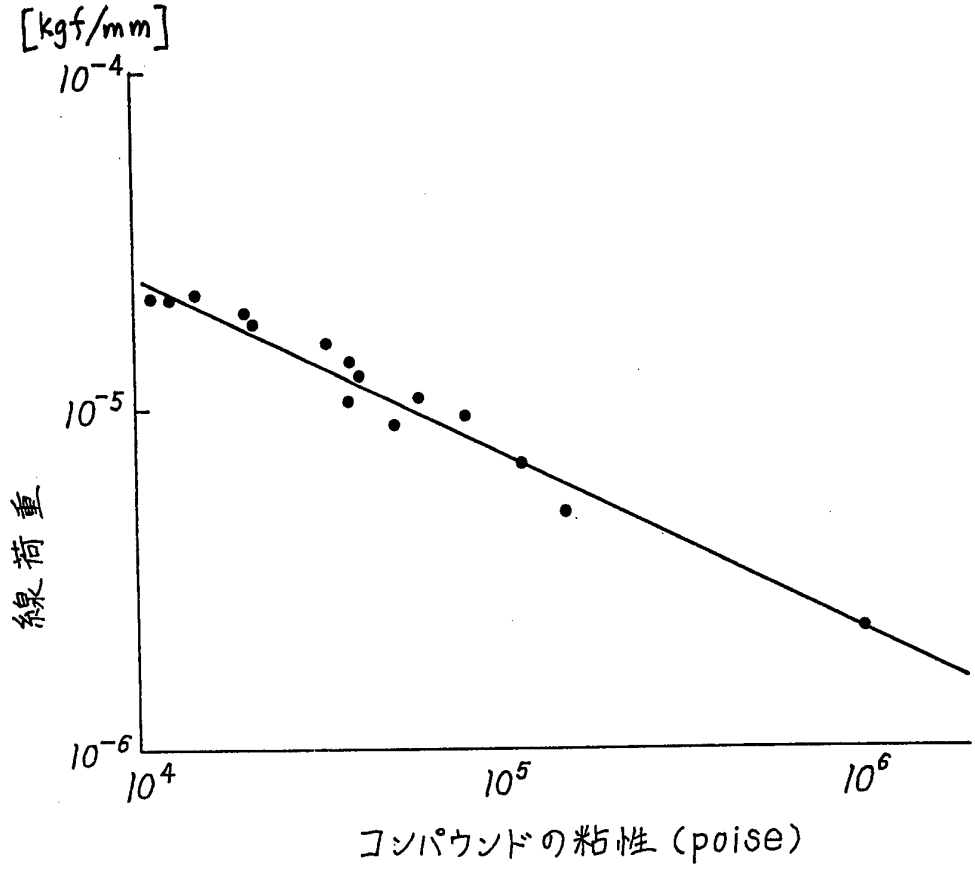
小径直管部の長さ $L_3 = 3mm$
テーパ管部の長さ $L_4 = 1mm$
$Lt = L_3 + L_4 = 4mm$
サンプル数 $n = 10$



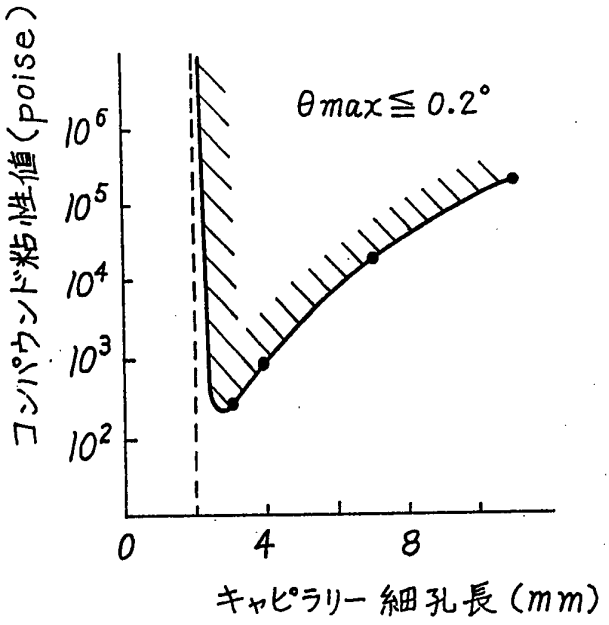
【図13】


Lt
L3
L4
21
22
23
26
25
27
24

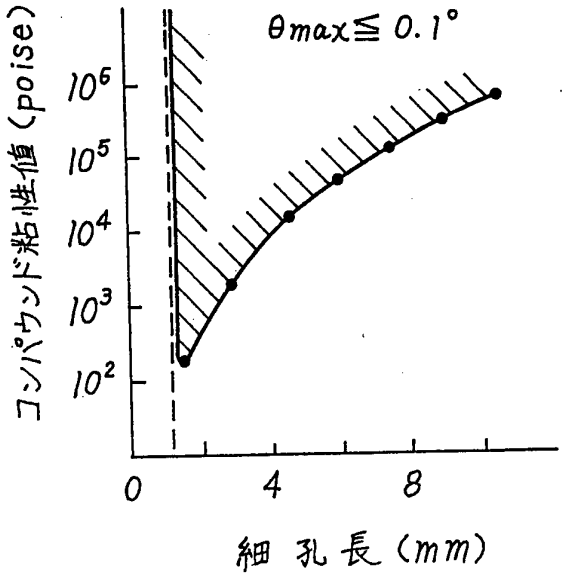
【図14】


[kgf/mm]
10^-4
10^-5
10^-6
線荷重
10^4
10^5
10^6
コンパウンドの粘性（poise）

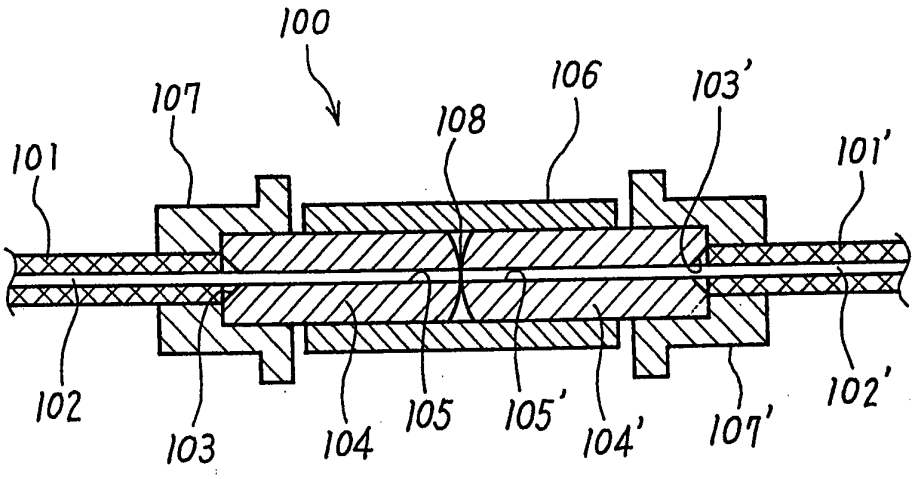
【図15】


θmax≦0.2°
コンパウンド粘性値(poise)
10⁶
10⁵
10⁴
10³
10²
0
4
8
キャピラリー細孔長(mm)

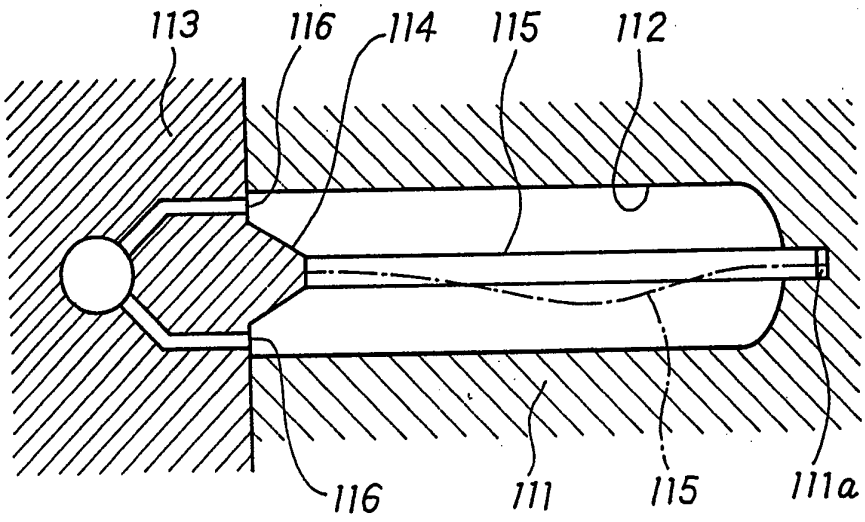
【図16】


θmax≦0.1°
コンパウンド粘性値(poise)
10⁶
10⁵
10⁴
10³
10²
0
4
8
細孔長(mm)

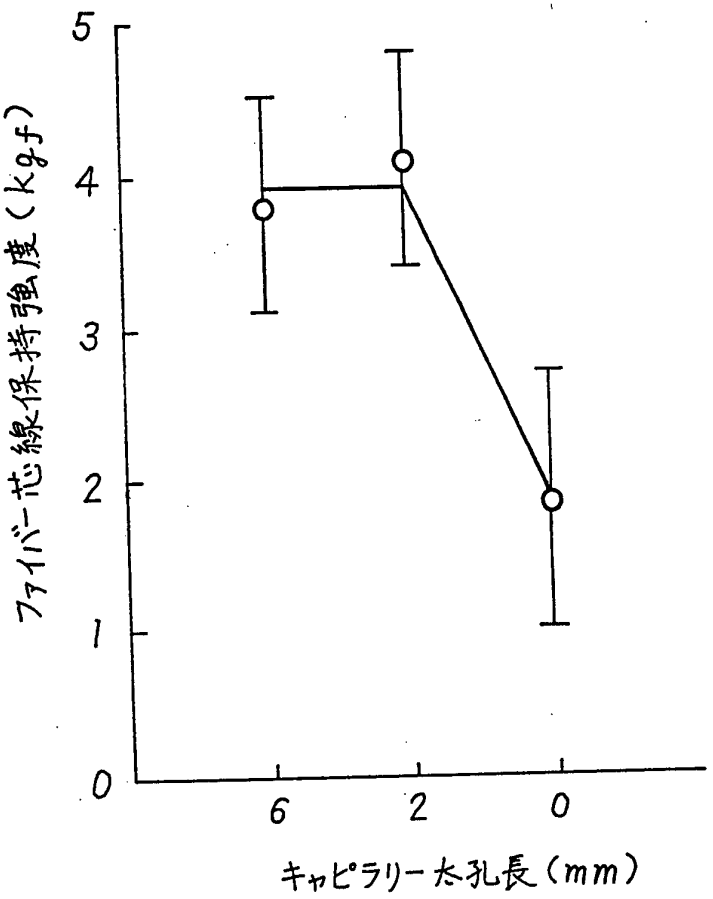
【図17】


100
107
106
103'
108
101
101'
102
103
104
105
105'
104'
107'
102'

【図18】


113
116
114
115
112
116
111
115
111a

【図19】



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP94/01562

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl^6 G02B6/36, B28B21/38

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl^5 G02B6/36, B28B21/38

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926 - 1994
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971 - 1994

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, A, 58-9115 (Alpus Electric Co., Ltd.), January 19, 1983 (19. 01. 83), Lines 9 to 15, upper right column, page 3, Fig. 5(a), (Family: none)	1-2
Y	JP, U1, 56-40510 (Nippon Koku Denshi Kogyo K.K.), September 6, 1981 (06. 09. 81), Lines 13 to 19, page 2, Figs. 2, 7, (Family: none)	1-2
Y	JP, A, 3-208 (Fujikura Ltd.), January 7, 1991 (07. 01. 91), 15th line from the bottom to 5th line from the bottom, right column, page 1, (Family: none)	3-39
A	JP, A, 62-106419 (Nippon Telegraph & Telephone Corp.), May 16, 1987 (16. 05. 87), Page 1, claim, lines 3 to 16, lower left column, page 3, Fig. 7, (Family: none)	1-39

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
November 10, 1994 (10. 11. 94)	November 22, 1994 (22. 11. 94)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP 94/01562

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int. Cl[6] G02B6/36, B28B21/38

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int. Cl[6] G02B6/36, B28B21/38

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926－1994年
日本国公開実用新案公報 1971－1994年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
Y	JP, A, 58－9115（アルプス電気株式会社）, 19. 1月. 1983（19. 01. 83）, 第3頁右上欄第9行－15行, 第5(f)図（ファミリーなし）	1－2
Y	JP, U1, 56－40510（日本航空電子工業株式会社）, 6. 9月. 1981（06. 09. 81）, 第2頁第13行－19行, 第2図, 第7図（ファミリーなし）	1－2

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊ 引用文献のカテゴリー
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
10. 11. 94

国際調査報告の発送日
22.11.94

名称及びあて先
日本国特許庁（ISA/JP）
郵便番号100
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）
大潤統正 印
2K 7139

電話番号 03－3581－1101 内線 3255

C（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
Y	JP, A, 3-208（藤倉電線株式会社）， 7. 1月. 1991（07. 01. 91）， 第1頁右欄下から第15行－下から5行（ファミリーなし）	3-39
A	JP, A, 62-106419（日本電信電話株式会社）， 16. 5月. 1987（16. 05. 87）， 第1頁，特許請求の範囲，第3頁左下欄第3行－16行， 第7図（ファミリーなし）	1-39