

[12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 93112737.8

[51]Int.Cl⁵

G02B 6/24

[43]公开日 1994年7月27日

[22]申请日 93.12.31

[30]优先权

[32]92.12.31[33]US[31]07 / 999,296

[71]申请人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约

[72]发明人 丹尼尔·阿洛塞斯·诺兰

戴维·利·魏德门

[74]专利代理机构 上海专利事务所

代理人 孙敬国

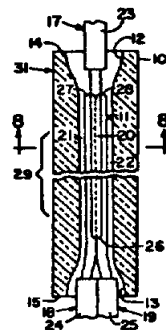
说明书页数:

附图页数:

[54]发明名称 消色差耦合器

[57]摘要

一种消色差光纤耦合器，其中三个单模光纤沿其长度的一部分熔合在一起形成一耦合区。每根光纤包括一芯线和一包层，光纤包层的最低折射率为 n_2 。光纤在耦合区中呈三角形排列。一折射率为 n_3 的基质玻璃壳体包围着耦合区， n_3 取比 n_2 低一个使 Δ_{2-3} 的值低于 0.125% 的数值，其中 Δ_{2-3} 等于 $(n_2^2 - n_3^2) / 2n_2^2$ 。



权 利 要 求 书

1. 一种 $1 \times N$ 消色差耦合器，其中 N 为 2 或 3，其特征在于，所述耦合器包含：

一被拉伸的基质玻璃壳体；和

通过所述玻璃壳体延伸的三个光波导通道，所述通道的每一个包含一芯线区，所述每个芯线区由一折射率低于所述芯线区的包层区包围着，所述包层区的最低折射率为 n_2 ，

所述光波导通道足够靠近地延伸一足够长的距离以形成一耦合区，其中在所述通道之一中传播的部分光功率耦合到其它所述通道中，

所述芯线区当从垂直于所述玻璃壳体的纵轴平面中观察时以三角形阵列配置在所述耦合区中。

至少在所述玻璃壳体邻接所述通道的区域上的折射率为 n_3 ，这里 n_3 低于 n_2 这样一个量以便使 Δ_{2-3} 的值小于 0.125%，其中 Δ_{2-3} 等于 $(n_2^2 - n_3^2) / 2n_2^2$ 。

2. 如权利要求 1 所述的耦合器，其特征在于，所述波导通道包含光纤。

3. 如权利要求 2 所述耦合器，其特征在于，所述基质玻璃为圆柱形的壳体，所述光纤通过该壳体纵向延伸，所述壳体远离其端部的部分的直径小于所述壳体端部的直径。

4. 一种光纤耦合器，其特征在于，它包含：

一拉伸的基质玻璃壳体，所述壳体具有第一和第二相向端和一中间区，

一输入光纤和两输出光纤通过所述中间区纵向延伸，所述光纤的每一个包含一芯线，所述每一芯线由一折射率低于所述芯线的包

层包围着，所述光纤的包层的最低折射率为 n_2 ，所述光纤按三角形阵列位于所述中间区中，

至少邻接所述光纤的所述壳体区的折射率为 n_3 ，这里 n_3 低于 n_2 这样一个值以便 Δ_{2-3} 值小于 0.125%，其中 Δ_{2-3} 等于 $(n_2^2 - n_3^2) / 2n_2^2$ ，

所述中间区的中心部分的直径和所述中间区的中心部分中的所述光纤的直径比在所述壳体的端部上的这些直径小，

所述输入光纤从所述壳体的所述第一端延伸，

所述输出光纤从所述壳体的所述第二端延伸。

5. 如权利要求 4 所述光纤耦合器，其特征在于，所述基质玻璃壳体的组分在其整个径向上基本上是均匀的。

6. 如权利要求 4 所述光纤耦合器，其特征在于，所述基质玻璃壳体包含一邻接所述光纤、具有折射率 n_3 的内部区域和邻接所述内部区域的另一区域，所述另一区域的折射率小于 n_3 。

7. 如权利要求 4 所述的光纤耦合器，其特征在于，所述输入光纤仅从所述壳体的第一端延伸，没有一根所述光纤会延伸完全通过所述壳体。

8. 如权利要求 7 所述光纤耦合器，其特征在于，所述输入光纤的包层折射率大于所述两输出光纤的包层折射率。

9. 如权利要求 4 所述光纤耦合器，其特征在于，所述输入光纤从所述壳体的第一和第二端延伸完全通过所述壳体。

10. 如权利要求 9 所述光纤耦合器，其特征在于，所述输入光纤的包层折射率不同于所述两输出光纤的折射率。

11. 一种制造 $1 \times N$ 光纤耦合器的方法，其中 N 等于 2 或 3，所述方法包含：

提供一个具有第一和第二相向端和一中间区的玻璃管，一纵向管腔从所述管子的第一端延伸到其第二端，至少邻接所述管腔的所

述管子的内部区域具有折射率为 n_3 ,

在所述管腔内配置输入玻璃光纤的一部分和两输出玻璃光纤的端部, 每个所述光纤有一芯线, 所述芯线由一折射率小于所述芯线的包层包围着, 所述光纤的包层的最低折射率为 n_2 , 这里 n_2 大于 n_3 这样一个值以便 Δ_{2-3} 的值小于 0.125%, 其中 Δ_{2-3} 等于 $(n_2^2 - n_3^2) / 2n_2^2$, 所述第一光纤的一部分延伸至所述管子的第一端外面, 所述两光纤的一部分延伸至所述管子的第二端外面。

使所述管子中间区向内收缩紧裹到所述光纤上, 并拉伸所述中间区的中心部分以减小其直径并制成一耦合区, 在所述耦合区中, 当从垂直于所述管子的纵轴平面上观察时所述输入光纤和所述两输出光纤呈三角形阵列配置。

12. 如权利要求 11 所述方法, 其特征在于, 所述管子的折射率在其整个径向上基本上是均匀的。

13. 如权利要求 11 所述方法, 其特征在于, 所述管子包含具有折射率为 n_3 的邻接所述管腔的内部区域, 和邻接所述内部区域的另一区域, 所述另一区域的折射率小于 n_3 。

14. 如权利要求 11 所述方法, 其特征在于, 所述输入光纤仅从所述管子的第一端延伸而所述两输出光纤从所述管子的第二端延伸。

15. 如权利要求 14 所述方法, 其特征在于, 所述输入光纤的包层折射率大于所述两输出光纤的包层折射率。

16. 如权利要求 11 所述方法, 其特征在于, 所述输入光纤从所述管子的第一和第二端延伸, 而所述两输出光纤从所述管子的第二端延伸。

17. 如权利要求 16 所述方法, 其特征在于, 所述第一光纤的包层折射率不同于所述两输出光纤的包层折射率。

说明书

消色差耦合器

本发明涉及单模光纤耦合器，这种耦合器能够在相当宽的波长范围上在光纤之间进行相当均匀的光耦合。

熔合的光纤耦合器是通过将多根光纤以边挨边的方式沿其适当长度设置并与包层熔合在一起而构成的，以保护光纤和减少线芯之间的间隔。通过在加热和拉伸光纤之前插入一毛细管能改进各种耦合器特性，由此产生一种“外包层耦合器”(overclad coupler)。为了构成外包层耦合器，将光纤插入一管中，将管子抽真空，并在其中部区域加热使中部区域向内收缩裹紧光纤。此后使中部区域的中心部分变细到为获得所需耦合度所必需的直径和耦合长度。

线芯在耦合区域中变得如此之小以致它们的光传播作用变得非常小。当光纤包层直径变得足够小时，线芯和包层的复合物在耦合区域中起着波导的导光部分的作用、而包封的低折射率基体材料起包层作用，因此功率能在耦合区域中的相邻光纤包层之间进行传输，处于耦合区域（线芯/包层/外包层波导）的那部分光纤的基模有一个不同于耦合区域外光纤中的基模的传播常数。这里项 β_{CR} 用来表示处于耦合区域那部分耦合光纤中的基模传播的传播常数。耦合区域中的基模的传播常数实际上随几何形状的改变而不断改变。为了能定性地掌握这些耦合器的性能，研究在耦合区中具有不变的几何形状并具有无损耗的输入输出光纤连接的耦合器是有用的。

至今，一直用相同的光纤来制做一种标准耦合器，其耦合比与波长的关系极大，即如果耦合器在 1310nm 上呈现 3dB 耦合度，则由于与波长的相关性它不能用作 1550nm 上的 3dB 耦合器。—“标准

耦合器”的特性在于其在约 1310nm 为中心的窗口中的功率传输特性，该窗口称为第一窗口。如，一个标准耦合器在 60nm 窗口中具有耦合比变化不超过 5%。

一种“消色差耦合器”是一种其耦合比对波长的敏感性比一标准耦合器低的耦合器。对于“消色差耦合器”没有更广泛可采纳的定义。不很严格的定义仅仅要求消色差耦合器比标准耦合器在第一窗口中呈现更好的功率传输特性。更实际地说，这种分类与要求消色差耦合器在那第一窗口中比标准耦合器运行得更好、或要求其在两个规定宽度的窗口中呈现较低的功率传输斜率紧密相联。例如这两个窗口可规定为宽度为 100 nm 而中心在约 1310nm 和 1530nm 上。这些窗口不需要有相同宽度；例如它们的宽度可能一个为 80nm 而另一个为 60nm。一个做得最佳的消色差耦合器基本上在整个单模工作范围上能呈现低的耦合功率斜率。对于石英基质光纤，这种工作范围如可规定在 1260nm 和 1580nm 之间。

采用在耦合区中对基模具有不同传播常数的光纤已制成一类消色差耦合器，即通过使用不同直径的光纤和/或不同折射率分布的光纤或使两相同光纤之一根比另一根更有锥度或蚀刻更多来形成不同传播常数。

美国专利 5,011,251 描述了外包层消色差光纤耦合器，其中，耦合光纤用折射率 n_3 低于光纤包层材料折射率的基质玻璃来包复。由于光纤具有不同的包层折射率，所以两波导的 β_{CR} 在耦合区中不同。在第一光纤包层的折射率 n_2 和第二光纤包层的折射率 n'_2 之间的差是这样的以便耦合器在相当宽的波长带上使耦合比随波长呈现很小的变化。图 1 表明按美国专利 5,011,251 所制做的典型的 $\Delta\beta$ 消色差耦合器的光谱特性。而两输出端的插入损耗曲线相交在两长途通信窗口的中心附近，它们在两窗口边缘附近发散，且两曲线之间在窗口边缘上通常相隔 1dB 左右。这种相隔称为“均匀性”，且一

基础标准机构(key standards body)Bellcore 在它的标为 TA1209 的文件中提出需要的均匀性为 1.0 dB 而指标(Objective)为 0.5 dB。

美国专利 5,011,251 揭示了管子折射率 n_3 的特征在于符号 Δ_{2-3} , 其值从等式 $\Delta_{2-3} = (n_2^2 - n_3^2) / n_2^2$ 获得。项 Δ 常用百分率表达、即一百乘 Δ 。市售的单模光纤的 n_2 值通常等于或近于二氧化硅的那个值。如果二氧化硅用作管子的基质玻璃, 则把掺杂剂如 B_2O_3 (亦可选氟) 添加到其中以便把管子折射率 n_3 降低到低于 n_2 。除了降低管子的折射率外, B_2O_3 的优点还在于把管子的软化点温度降低到比光纤的更低的值上。那专利还揭示了当 Δ_{2-3} 低于约 0.2% 时, 二氧化硅管中的 B_2O_3 量不足以软化 1×2 或 2×2 耦合器中的管子玻璃, 因此它使光纤在向内收缩裹紧(collapse)步骤期间过度变形。因此, 标准耦合器的 Δ_{2-3} 值一般在 0.26% 和 0.35% 之间, 为了改进那专利中揭示的制造那种类型的消色外包层耦合器的工艺过程的重复性, Δ_{2-3} 最好大于 0.4%。

1992 年 7 月递交的美国专利申请 SN07/913, 390 (D. L. Weidman-6) 揭示了一种外包层消色差光纤耦合器, 其中多个单模光纤沿它们的长度部分熔合在一起以形成由折射率 n_3 的基质玻璃体包围的耦合区域。耦合器锥度和 n_3 这样来安排使耦合器的耦合常数在两个隔开很宽的波长上相等, 于是获得消色差的性能。为了得到这样的消色差性能, n_3 必须比 n_2 低这样一个值, 以致使 Δ_{2-3} 的值低于 0.125%, n_2 是光纤包层的折射率。 Δ_{2-3} 的值最好如此选择以便非绝热锥度的额外损耗保持在 0.5 dB 以下。在 W. J. Stewart 等人著的“关于单模光纤的锥度和耦合器的设计限制”一文(见 Proc. Iopoc 期刊中第 559—562 页)中讨论了非绝热锥度(taper)装置。为了满足这种要求, 似乎 Δ_{2-3} 必须低于 0.125%、最好低于 0.02%。当 Δ_{2-3} 变得更小时, 使折射率减少得较少掺杂剂出

现在二氧化硅为基质的玻璃管中。因此相当硬的基质玻璃管使其中的光纤在耦合器制造过程中的向内收缩紧裹步骤期间产生变形。这样的光纤变形会增加耦合器额外损耗，这样就抵消了由于减少锥度陡度引起的额外损耗的减少。

本发明的目的在于提供一种制造单模外包层消色差光纤耦合器而不会使耦合区域中的光纤过度变形的办法。本发明的另一目的在于提供一种单模外包层消色差光纤耦合器，其特征在于，该耦合器在宽波长带上耦合功率的变化很小。本发明的再一目的在于提供一种具有改进的插入损耗均匀性的 1×2 外包层消色差耦合器。

简言之，本发明涉及一种 $1 \times N$ 的消色差耦合器，其中， N 为 2 或 3。该耦合器包含一伸长的基质玻璃(matrix glass)的壳体，和三个经该壳体延伸的光波导通路。每个通路包含一由折射率低于线芯区域的包层区域包裹的线芯区域，包层区域的最低折射率为 n_2 。光波导通路以足够贴近方式延伸足够长的距离以形成一耦合区域，在该区域中，在通路之一中传播的部分光功率耦合到其它通路中。当在垂直于壳体纵轴的平面中观察时，线芯区域以三角形阵列配置在耦合区域中。至少邻接通路的那部分壳体区域的折射率为 n_3 ，这里 n_3 低于 n_2 这样一个值以下以便 Δ_{2-3} 的值低于 0.125%，这里 Δ_{2-3} 等于 $(n_2^2 - n_3^2)/n_2^2$ 。

用一个具有第一和第二相向端和一中间区域的玻璃管就能制造耦合器。至少在邻接内腔的管子的内里部分具有折射率 n_3 。一输入玻璃光纤的一部分和两输出玻璃光纤的端部分设置在内腔中。第一光纤的一部分延伸超过管子的第一端，而两光纤的每一个的一部分延伸超过管子的第二端。管子中间区域被紧裹到光纤上，且中间区域的中心部分内陷以减少它的直径并形成耦合区域。输入光纤和两输出光纤的位于耦合区域中的那些部分当在垂直于管子纵轴的平面观察时呈三角形阵列配置。

图 1 是表明用已有技术的方法生产的消色差 1×2 耦合器的光谱耦合系数的曲线图；

图 2 为一种外包层 2×2 耦合器的纵剖视图；

图 3 为紧裹步骤之前通过一外包层 2×2 耦合器的中间区域的横剖视图；

图 4 为一具有 Δ_{2-3} 值为 0.35% 的 2×2 开关耦合器 (switch coupler) 在 3 个不同波长上的耦合常数对于拉伸比的倒数 (inverse draw ratio) 的曲线图；

图 5 为两个具有不同拉伸比 (draw ratios) 和不同耦合距离但具有相同耦合度的管子的外表面简图；

图 6 为作为波长为 1310nm 和 1550nm 的 Δ_{2-3} 的函数所作出的“NAT 差” (方程(10)的差值参数) 的曲线图；

图 7 为光纤插入其中之后的毛细管的剖视图；

图 8 为沿图 7 中线 8—8 的剖视图；

图 9 表明用于紧裹毛细管和拉伸其中间区域的装置的示意图；

图 10 为用例 1 方法制作的一消色差 1×2 耦合器的光谱耦合系数曲线图；

图 11 为一消色差 1×3 耦合器的光谱耦合系数理论曲线图；

图 12 为一种管子作为管子半径函数所画的折射率的曲线图；
和

图 13 显示了一光纤耦合器在其已经拉伸并在其端部已密封后的图形。

各附图并不用来表明这里示出的元件尺寸或有关比例。

本发明为呈现由它们的相当低的 Δ_{2-3} 值产生的消色差性的一类外包层光纤耦合器的一特定实施例。这种耦合器的运行理论将联系图 2 中所示 2×2 耦合器进行讨论。为了制造图 2 的耦合器，用光纤 F_1 和 F_2 穿过具有直径 d_1 的玻璃外包层管 O 。至少在与光纤相邻

的管子的内里部分的折射率为 n_3 。光纤 F_1 和 F_2 有一由折射率低于 n_1 但大于 n_3 的包层包裹着的折射率为 n_1 的线芯。管子 O 被抽空，且它的中间区域被加热以便使它紧裹到光纤上。然后对管子再加热并沿两相反方向中拉其两端以便对紧裹的中间区域的中心部分进行拉伸。管子的紧裹和拉伸操作可按照美国专利 5,011,251 进行，根据参考资料在这里将那专利的揭示结合进来。在拉伸步骤期间两管端相互移离的速度构成组合拉伸速度。管子能以恒速拉伸，或拉伸速度以连续的方式或以离散阶跃的方式变化。在达到预定的耦合后就能停止拉伸操作；此后，管子能再被加热，且能以第二拉伸速度进行拉伸。变细区 N 的中心部分的原有直径 d_1 与直径 d_2 的比称为拉伸比。区域 N 虽然稍有锥度，因而，区域 N 的纵向中心呈现最小直径，但其仍图示为具有不变的直径。该制成的耦合器的耦合特性由管子 O 和光纤 F_1 和 F_2 的光学的机械的特性及像长度 Z、变细区 N、和有锥度区 T 等耦合器参数的参数确定。

光功率能耦合到一输入光纤，且能对输出信号进行监测以控制该耦合器制造过程中的工艺步骤。例如可参看美国专利 5,011,251。在下面所述的特定实施例中，拉伸期间不对输出功率进行监测。在先前的外包层光纤耦合器的实践中，两个阶段的总延伸距离一般在 12 和 16mm 之间。因此在那实施例中所描述的耦合器最初在那范围中拉伸某个距离。然后对制成的器件的光学特性进行了测量，且对此后制做的耦合器的拉伸或延伸距离进行调整以便获得所需要的特性，用这种方法，可获得最佳拉伸距离。据此，那种类型的所有耦合器被拉伸到获得所需光学特性的最佳距离上。然而，对所制造的耦合器的光学特性描述的结果能细调工艺参数如延伸距离。

应用耦合模理论对所制做的 1×2 或 2×2 光纤消色差 3 dB 耦合器已进行了理论分析以对它们的状况作出模型。这种分析的基础是纽约 Chapman 和 Hall 出版社 1983 年出版的 A. W. Snyder 和

J. D. Love 著的《光波导理论》一书所阐述的原理。按照这一理论，则认为图 2 的 2×2 外包层耦合器的模式场(mode field)是在没有其它光纤即仅用外包层折射率为 n_3 的材料包裹的光纤的情况下每个光纤 F_1 和 F_2 的基本模式 ψ_1 和 ψ_2 的线性组合。对于这种结构其传播常数和模式场能精确确定(参见 M. J. Adams 所著《光波导引论》)。

描述两芯线之间的光耦合的耦合常数可用复叠积分来表示：

$$C = \int \psi_1(\gamma) \psi_2(\gamma') (n - n') dA \dots \dots (2)$$

在该方程中， ψ_1 和 ψ_2 为两芯线的模式场， γ 和 γ' 分别为距光纤 F_1 和 F_2 芯线中心的径向距离， n 为整个耦合器的折射率结构(index structure)、 n' 为 F_1 的芯线和包层用折射率为 n_3 的外包复材料来代替的折射率结构。且积分是在耦合器的整个横截面上进行的(但是 $n - n'$ 只在 F_1 的芯线和包层上才为非零)。在该式中模式场被认为是归一化的，即积分 $\int \psi_1^2 dA$ 和 $\int \psi_2^2 dA$ 两者都为 1。

尽管它们是带锥形段的器件但仍可取下述的模型来处理其定性性能，即，假设在整个给定耦合长度上具有不变的拉伸比(draw ratio)，而在该长度外部没有耦合，即认为图 2 中的 N 区域的直径在整个长度 Z 上是不变的。由于耦合常数为随拉伸比迅速增加的函数，所以这种近似是很准确的、而耦合器的性能由最高拉伸比时的性能确定。使用这种近似，将功率导入芯线 1，则作为 Z 即沿耦合器轴的长度的函数，在两芯线中的功率为：

$$P_1(Z) = 1 - F^2 \text{Sin}^2(CZ/F) \dots \dots (3)$$

$$P_2(Z) = F^2 \text{Sin}^2\left(\frac{C}{F}Z\right) \dots \dots (4)$$

这里因子 F 为：

$$F = \left[1 + \left(\frac{\beta_1 - \beta_2}{2C}\right)^2\right]^{-1/2} \dots \dots (5)$$

这里 β_1 和 β_2 分别为光纤 F_1 和 F_2 的传播常数。

对于作为本发明的三波导耦合器，把单位功率导入波导 1 和耦合到波导 2 和 3，且其中，波导 2 和 3 相同 ($\beta_3 = \beta_2$) 但可与波导 1 不同，作为长度 Z 的函数，保留在芯线 1 中的功率为：

$$P_1(Z) = 1 - F^2 \text{Sin}^2\left(\frac{CZ}{F}\right) \dots \dots (6)$$

$$\text{这里： } F = \left[1 + \left(\frac{\beta_1 - \beta_2 - C_{23}}{8C_{12}}\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}} \dots \dots (7)$$

这里，波导 1 与 2 之间的耦合系数 C_{12} ，和波导 2 与 3 之间的耦合系数 C_{23} 用类似于式 2 的式子给出，但用适合于要考虑的折的折射率和模式 [ψ_1 和 ψ_2 用 C_{12} ， ψ_2 和 ψ_3 用 C_{23}]。由对称性， $C_{13} = C_{12}$ 。耦合到其它波导的功率为：

$$P_2(Z) = P_3(Z) = \frac{1}{2}[1 - P_1(Z)] \dots \dots (8)$$

于是能看到，为了具有从输入波导至 P_2 和 P_3 的完全的耦合 ($P_1 \rightarrow 0$)，则必须使 $F=1$ ，这就要求 $\beta_1 - \beta_2 = C_{23}$ 。换言之，为了获得完全的耦合，输入光纤必须具有一个稍大于两输出光纤的传播常数。

通过沿锥削部分对耦合方程的积分能获得更为定量的结果。使用束传播技术 (傅利叶变换、有限差分，等) 能获得更精确的模拟，不过要花费更多的计算时间。

用耦合模模型来将 2×2 耦合器的耦合常数定义为具有 Δ_{2-3} 值为 0.35% 的耦合器中的 3 个不同波长的拉伸比的函数。关于耦合器参数所做的大多数设想是建立在关于标准外包层耦合器的工作上的。假定光纤 F_1 和 F_2 为具有芯线直径为 $4 \mu\text{m}$ 的标准 $125 \mu\text{m}$ 外直径单模光纤。芯线和包层的折射率 n_1 和 n_2 分别设定为 1.461000 和 1.455438。该模型用来产生图 4 的曲线，它表明了本发明的在改进耦合器消色差方面的物理机制。在图 4 中，描绘出了耦合常数作为平行芯线 2×2 耦合器的拉伸比的倒数的函数。由此可见，给定波长的耦合常数随拉伸比的增加而迅速增加。然而，在拉伸比很大时曲线有一最大值。这是因为最终模场 (mode fields) 的扩张得如此之大

以致在任一光纤的芯线和包层构成的区域中(即取耦合常数复叠积分处),两光纤模场之间的交叠由于模场幅度的下降而实际上降低了。在大大小于拉伸比最大值的拉伸比上,较长波长的耦合常数因衍射效应扩张得更大而变得更大。然而,这一事实说明由于最大耦合出现的拉伸比取决于模场进一步扩张减少了从一个芯线的模场与从另一芯线的模场交叠量的那个点而使较长波长的最大耦合出现在较小拉伸比上。因为模场扩张对于给定的拉长比而言波长愈长扩张愈大,所以波长愈长最大值出现的 R 值愈小。如图 4 所示,这种情况使耦合常数曲线相交。

在一个具有单一拉伸比的无锥度的平行芯线器件中,为了获得消色差性能(如在约 1300 和 1500nm 上具有相等的耦合度),则耦合器的几何形状应选择得以便在耦合常数曲线的交叉点上工作,即在如图 4 所示的两波长的 R_{Cross} 点上工作。在一有锥度器件中,它具有包括直到拉比最大值 R_{max} 的几何形状,必须使 $R_{\text{max}} > R_{\text{Cross}}$ (使 $1/R_{\text{max}}$ 在图 4 中的交叉点的左面)。这是由于在靠近锥削部分的端部(参见图 5 的虚线 5 和 6 之间的区域 LW)的低拉伸比上,波长愈长耦合愈强,因此长波长的光耦合更多。通过锥度变化使 $R_{\text{max}} > R_{\text{Cross}}$, 耦合器也包括一区域 SW (虚线 4 和 5 之间),这里波长愈短耦合愈强,因此补偿了小位伸比区域。区域 SW 和 LW 与图 5 中管子 36 的锥度有关。 R_{max} 的精确值必须通过耦合方程在整个有锥度器件上的数值积分求得。

从图 4 和上面所涉及的讨论可见拉伸比约为 10 : 1 为构成 Δ_{2-3} 为 0.35% 的消色差耦合器是必须的,这样高的拉伸比因下述原因会产生相当高的额外损失。较高的拉伸比引起耦合强度的增加,由此须使耦合距离 Z 缩短。这种关系图示在图 5 中,其中两拉伸管 3a 和 3b 分别用实线和虚线表示。由于管子 3b 比管子 3a 具有更大的拉伸比,所以管子 3b 比管子 3a 必须具有更短的耦合距离 Z 以便

获得相同的耦合（在功率传输曲线的第一周(cycle)上）。该功率传输曲线在美国专利 5,011,251 中结合那专利的图 6 进行了讨论。

我们知道，从 LP_{01} 基模到高次模的不希望的模间耦合对于具有高拉伸比/短耦合区域的锥度更陡的管子 3b 将变得更强。这种非绝热耦合会增加耦合器的额外损耗。

上述模型用来从理论上计算 1×2 双窗口转换器所需要的锥度参数。有锥度的耦合器的拉伸比作为沿其长度的距离 Z 的函数的描述 (Z 的原点在最大拉伸比点上) 能简单地用包括最大拉伸比 R_{MAX} 和高斯宽度参数 W_0 的高斯函数来表达。它表示为：

$$R(Z) = 1 + (R_{MAX} - 1) \exp[-(Z/W_0)^2] \dots \dots (9)$$

标准的 2×2 WDM 耦合器的这些参数的典型值为 R_{MAX} 从 3 到 6 和 W_0 从 3000 至 6000 μm 。该模型展现了参数 R_{MAX} 和 W_0 处于 Δ_{2-3} 值非常小的当前流行的耦合器值的范围内。“流行耦合器”是指美国专利 5,011,251 中揭示的一种外包层耦合器，其中 Δ_{2-3} 大于 0.26%。更低的 Δ_{2-3} 值将会使图 4 曲线移向右面（朝更低的拉伸比值方向）和向下面（朝更小的最大耦合常数值的方向），由此能制成易获得拉伸比的消色差耦合器。当使 Δ_{2-3} 值更小时，所要求的 R_{MAX} 的值变得更小，因而所需要的耦合长度（用高斯宽度参数 W_0 表示的）变得更长。于是锥度变得小些。

对于能应用的 Δ_{2-3} 的最大理论值可通过研究非绝热模式耦合的限制而获得。对于 LP_{01} 和 LP_{02} 模可计算传播常数 (β)。 LP_{02} 模是最低次模，在一个理想的匹配光纤耦合器中它耦合到 LP_{01} 模。由式 (6) 和 LP_{01} 和 LP_{02} 模的 β 可确定参数 $1/a |da/dZ|$ 和 $1/2 \pi [\beta(LP_{01}) - \beta(LP_{02})]$ ，这里 a 为芯线半径而 Z 为沿耦合器轴测量的距离。对于绝热性能，必须存在如下关系：

$$1/2\pi[\beta(LP_{01}) - \beta(LP_{02})] - 1/a |da/dZ| > 0 \dots \dots (10)$$

式 (7) 的这里称为“NAT 差值”的差值参数在图 6 中描绘成波

长 1310 和 1550nm 的 Δ_{2-3} 的函数。对于 Δ_{2-3} 值从 0.02% 至 0.14% 在两个波长的每一个上计算了差值。在 1310nm 曲线上当 Δ_{2-3} 最大可能理论值为约 0.125% 时 NAT 差值为零。由实践经验可发现，用 Δ_{2-3} 值约为 0.045% 或更低可在波长 1300—1550 nm 范围内获得消色差方面的显著改进。按照用图 9 所示类型的拉制设备可能获得的锥度，当 Δ_{2-3} 为 0.09% 时不可能制成消色差耦合器。然而，为了在比 0.045% 更大的 Δ_{2-3} 值上制做消色差耦合器，可使用外直径更小的管子和使用能提供一个更小更紧凑集中火焰的燃烧器。用 Δ_{2-3} 值约为 0.01% 到 0.02% 已获得最好的结果。能测量 Δ_{2-3} 的下限为 0.01%。

上面以两光纤耦合器对本发明的原理进行了详细讨论，外包层耦合器能用最简单的光纤结构来构成。如图 3 所示，在管子 T 紧裹到光纤上的步骤完成之前在光纤 F_1 和 F_2 的相对侧上有许多空间。在其背景技术部分中已提到：具有更易形成有锥度区的低耗消色差耦合器要求相当低的 Δ_{2-3} 值。于是，在两光纤消色差中，在进行管子紧裹 (collapse) 步骤期间，由于用高粘度管子所施加的压力而使光纤变形；这种变形会引起耦合器额外损耗的增加。

这种光纤变形问题通过采用图 7 和图 8 所示三角形光纤布局基本上已获得解决。在该实施例中，包层 23、24 和 25 分别从所包复的光纤 17、18 和 19 的端部剥去，且光纤的端部设有如下所述的抗反射终端。输入光纤 20 插入管子 10 的内腔 11 的一端中，而输出光纤 21 和 22 插入另一端中。这些光纤用少量的环氧树脂搭粘在适当的位置上。然后把耦合器的预制品放入拉制夹具中，把管子 10 抽空并对其中部加热，然后收缩紧裹到光纤上。此后中部的中心部分拉伸到那直径上和为获得所需耦合所必须的耦合长度上。于是光纤的芯线从垂直于耦合器壳体的纵轴的平面观察在耦合区中配置成三角形阵列。

能对耦合器进行拉制以构成一锥削区，这样注入到输入光纤的功率基本上相等并完全地耦合到两输出光纤，由此产生如图 10 所示的基本上平行的插入损耗曲线。输入光纤芯线/包层/外包层波导在耦合区中，必须具有一个比两输出光纤芯线/包层/外包层波导的每一个的传播常数 β_{2CR} 要稍大些的传播常数 β_{1CR} 。这种情况能通过如在输入光纤包层里掺入的氯比输出光纤包层中的稍多些来实现。使得输入光纤包层的折射率大于输出光纤包层的折射率的这种技术在美国专利 5,011,251 中有描述。

上面联系外包层消色差 2×2 耦合器讨论的通过采用小的 Δ_{2-3} 值来改进消色差的理论也可用于光纤 1×2 和 1×3 耦合器。于是，通过采用一个小于 0.02% 的 Δ_{2-3} ，图 7 和图 8 所示器件的插入损耗曲线相当平坦；它们也显示出极好的输出光纤插入损耗的均匀性。

由于图 7 和图 8 的三角形几何形状使填入管腔 11 的玻璃比图 3 的 2 光纤几何形状的多，因此这在用管子玻璃紧裹光纤步骤中产生较小的光纤变形。因此用图 7 和图 8 的实施例做成的光耦合器呈现较小的额外损耗。

从这种 1×2 三角形光纤布局还可带来进一步的优点。与图 3 中所示 2 光纤实施例中要从贯穿的光纤或两个光纤的中心剥离包层的情况相反，这里仅需剥掉光纤的端部部分。而且这种耦合器的制造方法不需要光纤穿通管子的内腔。这些差别可使这种耦合器更易制造且适合于大批量生产。

这种三角形光纤布局也能用于制造消色差 1×3 功率分配器。在预定的波长上，输入功率的 $1/3$ 能保留在输入光纤中，它继续通过耦合器传播并起第三输出光纤的作用。要注意的是，包层必须从这输入/继续输出光纤的中心区域而不是从其端部剥掉，为了使功率在所有的光纤（包括输入光纤的输出部分）中相等，则输入/继续输出光纤必须具有不同于其余输出光纤的传播常数。对 $\Delta\beta_{CR}$ 和锥度进

行选择以便两耦合输出光纤的插入损耗曲线如图 11 曲线 58 所示那样，和输入/继续输出光纤的插入损耗曲线如曲线 57 所示那样。这样的 $\Delta\beta_{CR}$ 可通过使输入光纤具有一个不同于其余输出光纤的包层折射率而获得。在这样一个 1×3 三光纤耦合器中，与 1×2 三光纤耦合器所需相比，在直通光纤和两耦合一功率输出光纤的包层之间，需要约 3 倍的含氯量之差异。除氯之外的别种掺杂剂也能用来提供在输入/直通光纤中保持所需的输入功率电平所必须的折射率之差异。

有许多不同的方法能获得所需很小的 Δ_{2-3} 值。在一种方法中使用一纯 SiO_2 管和具有氯掺杂包层的光纤以便使包层比该二氧化硅管具有更大的折射率。这种技术对管子和光纤包层两者提供了对折射率的良好控制。极化变异(Polarization variability)也很好。这种玻璃组合的主要缺点在于它在管子和光纤之间产生很小的粘滞性之差别。这会使光纤变形并产生相当高的额外损耗。

市售的单模光纤通常具有一个等于或接近于二氧化硅的 n_2 值。当采用这类光纤时，管子可用掺有少量 B_2O_3 的二氧化硅制做(B_2O_3 的含量在 $0.15\text{wt}\cdot\%$ 至 $1.0\text{wt}\cdot\%$ 的范围内)。该 B_2O_3 使管子玻璃比光纤包层玻璃软，因此能构成具有小的额外损耗的耦合器。

如果光纤包层玻璃含有氟，一种降低折射率的掺杂剂，则二氧化硅管能包含足够量的 B_2O_3 以便把管子的折射率减低到为提供一个小于 0.125% 的 Δ_{2-3} 值所必需的水平上。

另一种方法是用基质玻璃(base glass)掺有一种或多种如 B_2O_3 和氟使折射率减小的掺杂剂和一或多种如 GeO_2 和 TiO_2 使折射率增大掺杂剂。两类掺杂剂的组合提供一个产生所需 Δ_{2-3} 值的折射率 n_3 。采用相对软性玻璃的管子从一定程度上增强了管子向内收缩紧裹光纤的作用；管子玻璃围绕光纤流动而不会使它们的形状变形得像硬玻璃造成的那么大。由于该实施例所需要的掺杂剂的错综复杂

的抵消作用，所以实现起来是困难的。

这种外包层管最好通过有时称为火焰(flame)水解工艺的蒸发淀积技术来制做。这种管子也能由熔化玻璃或由溶胶凝胶(sol gel)技术来制作。

成分具有径向变化的管子也已用来制做消色差耦合器。邻近管腔的管子内区域构成一提供所需 Δ_{2-3} 值的层。管子的其余部分能构成一个或多个具有不同于所述内区域的折射率的区域，在图 12 所示实施例中，在内表面 γ_{is} 和跃迁半径 γ_t 之间的管子内区域能包含少量的 B_2O_3 以提供使耦合器具有消色差性的足够低的 Δ_{2-3} 值。在 γ_t 和外表面 γ_o 之间的外管区域可包含比内区域更高浓度的 B_2O_3 。这种更高浓度的 B_2O_3 产生一个更低折射率区域，因此能更好地限制光功率。使用径向折射率基本上不变的管子和折射率在径向上有一阶跃减小的管子使耦合器具有大小相近的额外损耗。

使用不同直径的光纤也能在输入和输出光纤之间获得不同的传播常数。

实施例 1

一种制造 1×2 双窗口消色差光纤耦合器的方法图示在图 7—9 中。所使用的一种玻璃毛细管 10 长为 3.8cm、外直径为 2.8mm 和纵向腔直径为 265 μm 。由火焰水解(flame hydrolysis)工艺形成的管子 10 用约 0.5wt. % B_2O_3 掺杂的二氧化硅制作。

包复光纤 17、18 和 19 包含长为 1.5 米、直径为 125 μm 的单模光纤 20、21 和 22，和各自的直径为 250 μm 的聚氨脂丙烯酸盐的包层 23、24 和 25。按照美国专利 NO. 5,011,251 所揭示的方法制造的这些光纤具有直径为 8 μm 的掺有 8.5wt. % GeO_2 的二氧化硅芯线。光纤的截止波长低于耦合器的工作波长。例如，如果最小工作波长为 1260nm，则光纤的截止波长选在 1200nm 和 1250nm 之间。

制造所有光纤的各种方法的最初一些步骤是相同的，在美国专

利 5,011,251 和 4,486,212 中讨论了这种方法的一般描述, 将其收在这里作为参考。在一心轴上淀积一层芯线玻璃的粒子而 SiO_2 粒子的薄层再淀积在芯线玻璃的壳层上。去掉心轴, 并将这样做成的疏松的半制品渐渐插入氧化铝马弗炉、在里面进行干燥和固结, 同时让包含氯和氮的气体混合物流入已除去心轴的中心孔。包含氮和氧的清洗气体从马弗炉的底部朝上流过。在该疏松的半制品被固结之后, 通孔被抽空, 且圆筒体的下端被加热和拉制以做成一个 5mm 实心玻璃棒。切割该棒制成段, 其每一段夹在车床中, 将它作为心轴、在其上淀积 SiO_2 包层玻璃粒子以制成最后的多孔半制品。

最后的多孔半制品通常在包含氮、氯和氧的混合气体中进行固结。通常用于刚够干燥淀积包层玻璃粒子的氯的含量取决于包括多孔包层玻璃壳层的密度和固结温度等参数。该最后的输入和输出光纤的多孔半制品在这样的条件下被制成和固结, 即氯的浓度在输入光纤包层中为 0.10wt. % 而氯的浓度在输出光纤包层中为 0.05wt. %。输入和输出光纤的包层的折射率的大小使得 Δ_{CLADS} 值为 0.005%, 这里 $\Delta_{\text{CLADS}} = (n_2^2 - n_2'^2) / n_2^2$, n_2 是输入光纤 20 的包层的折射率, 而 n_2' 为输出光纤 21 和 22 的包层的折射率。

从各有包层的光纤段的端部剥掉一段 6cm 长的包层。当光纤端部被拉出并做成锥削端时, 通过将火焰引向光纤剥离区的中心制成抗反射端 26、27 和 28。光纤 20 的端头由喷灯火焰加热使玻璃收缩并制成圆形端面, 其直径等于或稍小于原有无包层光纤的直径。最终的剥离端区约 3.2cm 长。

将光纤的无包层区擦净。光纤 21 和 22 通过漏斗口 13 插进腔 11 内直到包层 24 和 25 的端部区进入漏斗口 13 内为止, 且端 26 位于中间区 29 与管端 15 之间。光纤 20 通过漏斗口 12 插入腔 11 内直到包层 23 的端部区进入漏斗口 12 内为止, 且端部 27 和 28 位于中部区域 29 和管端 14 之间。一少量的紫外线、作用粘合剂 (UV-

curable adhesive)(未图示)加到靠近端口 15 的光纤 18 和 19 上使它们与漏斗口 13 粘合并加到靠近端口 14 的光纤 17 上使它与漏斗口 12 粘合。然后把这种半成品 31 通过环形喷灯 34 (图 9)插入,且被夹于拉制夹具 32 和 33 上。夹具安装在电机控制的平台(stages)45 和 46 上。光纤穿过抽真空装置附件 41 和 41',抽真空管线 42 和 42'分别与装置附件 41 和 41'相连。按照美国专利 5,011,251 所揭示,抽真空附件 41 和 41'密封于管子 10 的两端。一段薄橡胶管 43 的一端附连于抽真空装置附件 41 的与半成品 31 相对的那端上;该管的另一端在用箭头 44 表示的管子夹紧装置中延伸。上面的抽真空装置附件 41'同样与管子 43'和管子夹紧装置 44'相联。光纤有包层部分从管子 43 和 43'延伸。通过把气体压力对准管子 43 和 43'使抽空 V 加于耦合器半成品 31,如箭头 44、44'所示。由此把光纤在其中延伸的那部分管子夹紧。

在连于管腔的真空度达 46cm 水银柱时,点燃环形喷灯 34。分别以 0.55SLPm 和 1.10SLPm 的流量将煤气和氧气加给环形喷灯使其产生火焰。环形喷灯 34 的火焰对管子 10 加热约 12 秒,则管子中部区域 29 向内收缩紧裹到光纤上。

管子冷却后,再点燃喷灯,煤气和氧气仍保持同样的流量。火焰把向内收缩部分的中心加热到其材料的软化点。10 秒之后,切断至喷灯的氧气供给。平台 45 和 46 沿相反的方向中以 1.0cm/sec 的组合速率把管子 10 拉伸 0.65cm 制成收细区 61 (图 13),其锥度做得使注入输入光纤的功率基本上相等地和完全地耦合到两输出光纤中。

耦合器冷却后,移开抽真空管线,并将粘合剂的滴珠 62 和 63 加到管子的两端 14 和 15。用紫外光灯照射进行粘合,然后将耦合器从夹具中取出。

对实施例 1 进行了耦合器的光谱插入损耗曲线的测量,示于图

10 中。由此可见该例的耦合器的插入损耗曲线相当平坦且基本上平行，因此它们表明具有插入损耗均匀度为 0.24dB。该器件的额外损耗在 1310nm 和 1550nm 上分别为 0.04dB 和 0.37dB。如实施例 1 构成的耦合器具有平均额外器件损耗在 1310nm 上约 0.2 dB。而测量的最低额外损耗在 1310nm 上为 0.04dB。

说明书附图

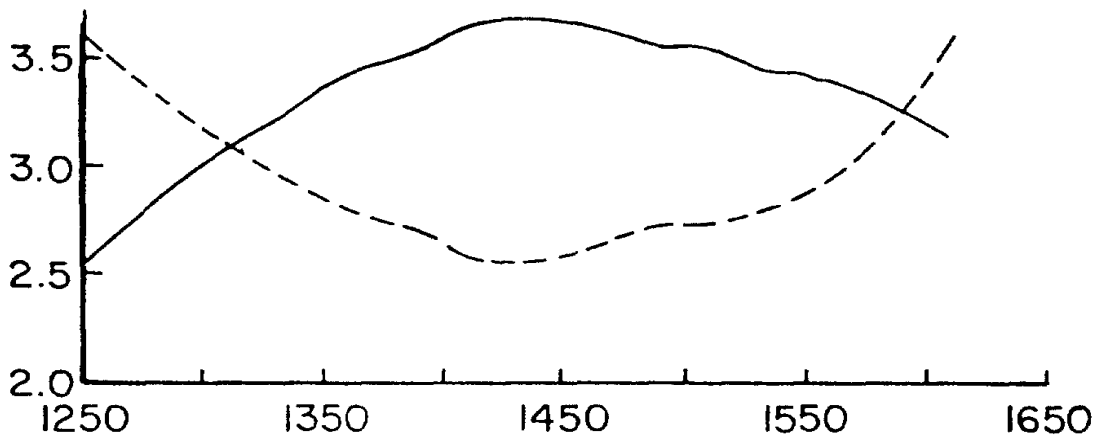


图 1

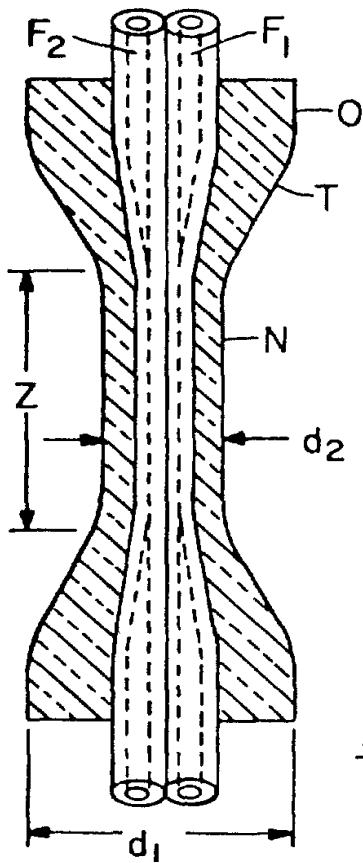


图 2

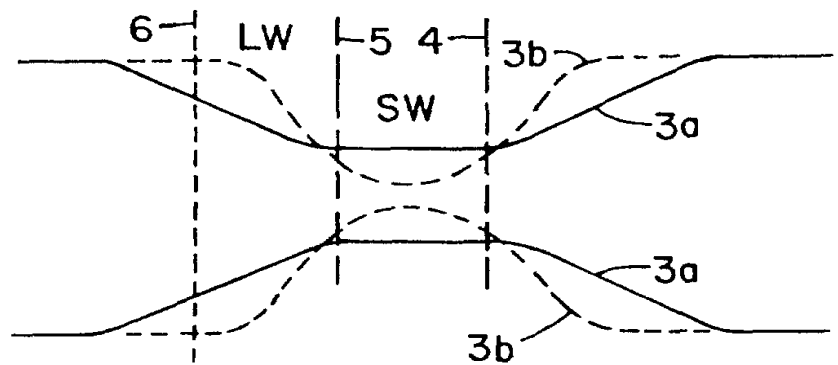


图 3

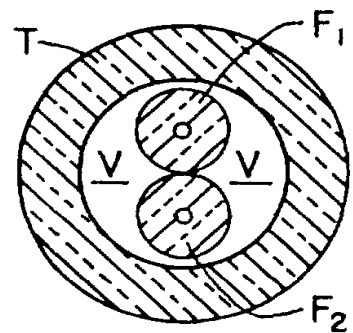


图 4

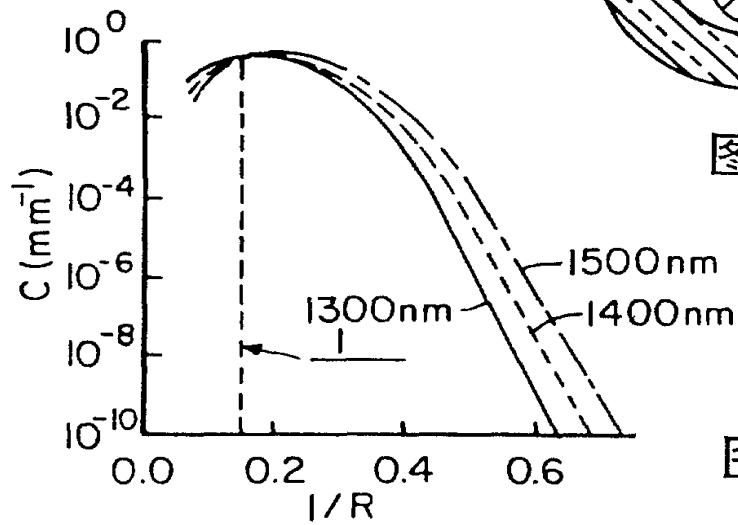


图 5

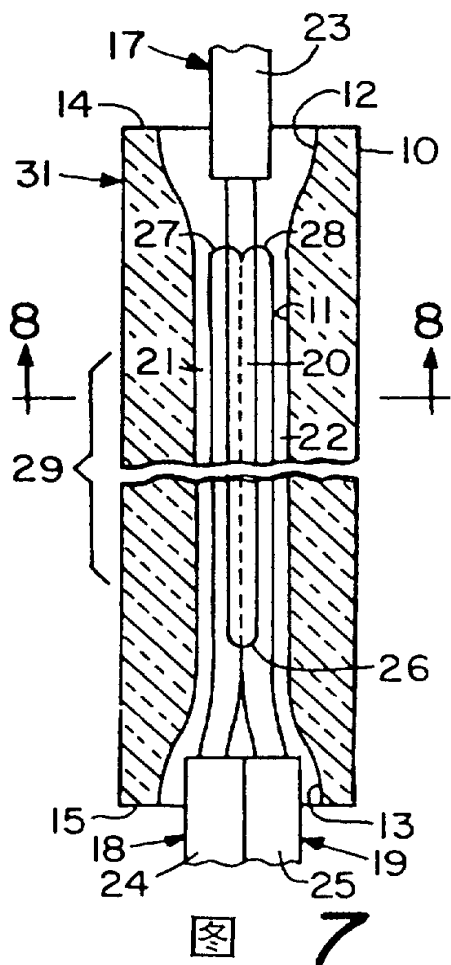


图 7

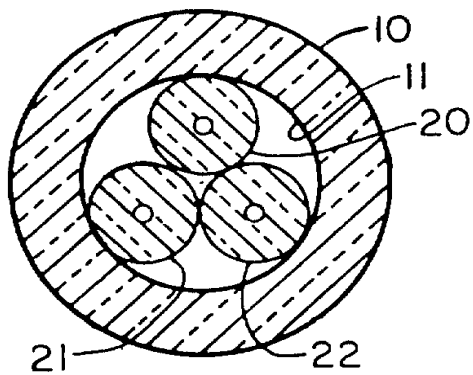


图 8

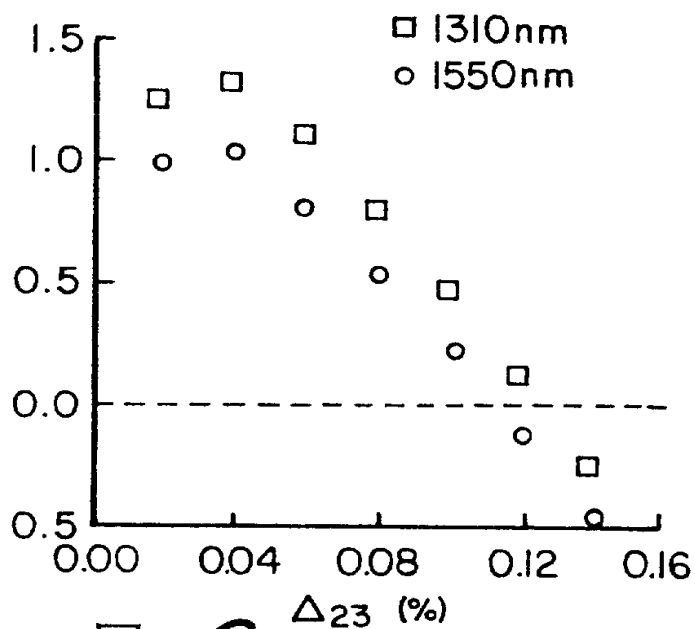


图 6

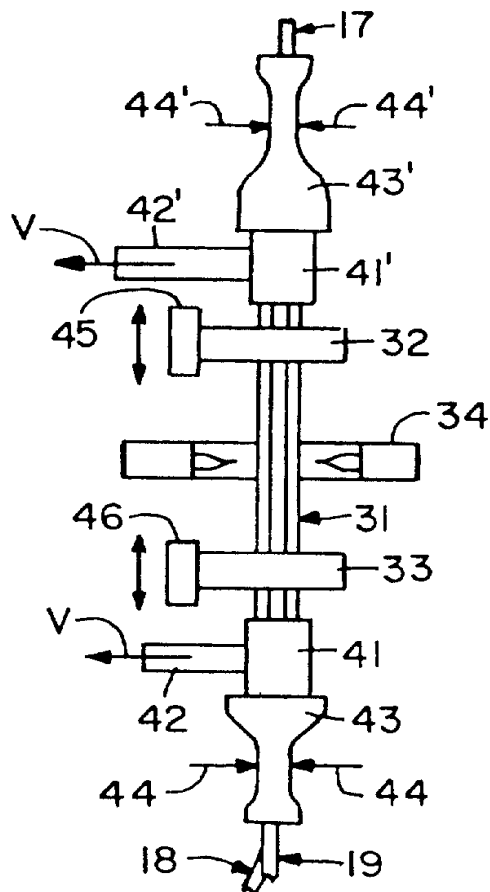


图 9

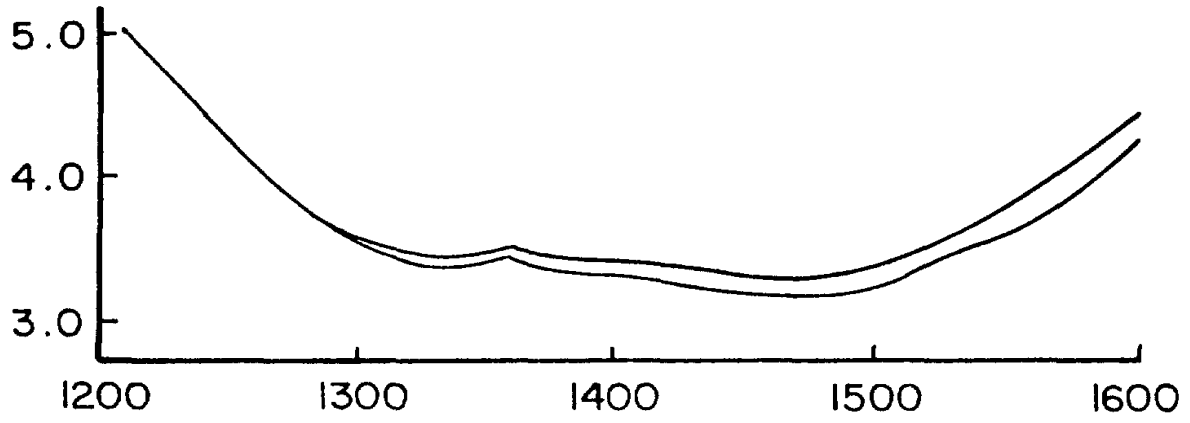


图 10

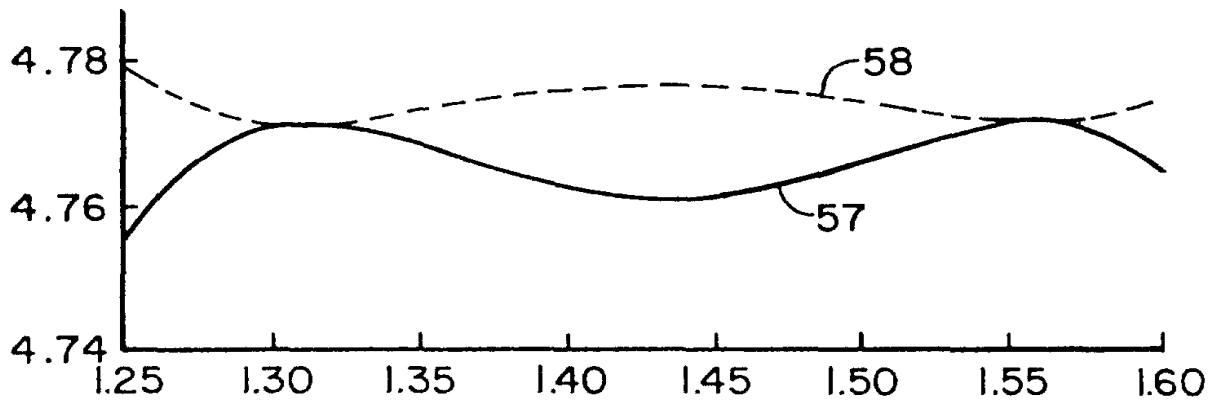


图 11

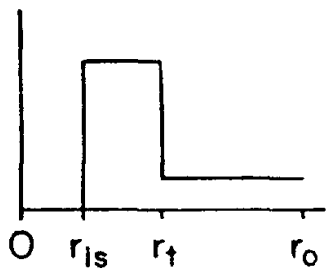


图 12

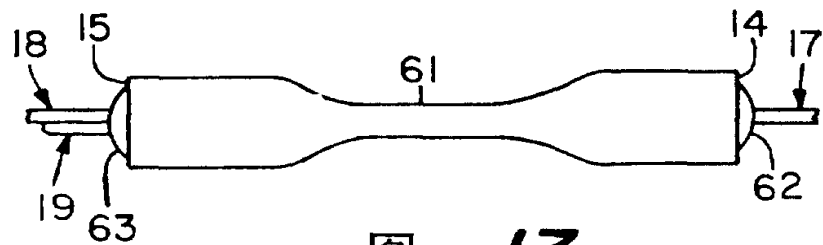


图 13