

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101401018 B

(45) 授权公告日 2011. 11. 16

(21) 申请号 200680053755. 1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2006. 08. 16

G02B 6/44 (2006. 01)

(30) 优先权数据

11/351, 456 2006. 02. 10 US

(56) 对比文件

US 5125063 A, 1992. 06. 23,

US 6377738 B1, 2002. 04. 23,

US 4979795 A, 1990. 12. 25,

US 6178278 B1, 2001. 01. 23,

CN 1627112 A, 2005. 06. 15,

US 5668912 A, 1997. 09. 16,

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 09. 08

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2006/031902 2006. 08. 16

(87) PCT申请的公布数据

W02007/092046 EN 2007. 08. 16

审查员 任温馨

(73) 专利权人 康宁光缆系统有限责任公司

地址 美国北卡罗来纳州

(72) 发明人 朱利安·雷特尔·格林伍德三世

小肯尼思·D·坦普尔

基思·H·莱尔 戴维·A·塞登

兰德尔·塔特尔

(74) 专利代理机构 北京律诚同业知识产权代理

有限公司 11006

代理人 徐金国 陈红

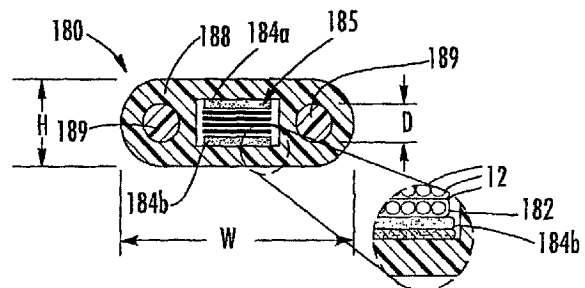
权利要求书 2 页 说明书 15 页 附图 13 页

(54) 发明名称

具有干燥插入元件的光纤缆线及其制造方法

(57) 摘要

一种光纤缆线和制造该光纤缆线的方法包含至少一个光波导、至少一个干燥插入元件和缆线包壳。该至少一个光波导和至少一个干燥插入元件至少部分地设置在该缆线包壳的腔内。在一个实施例中, 该缆线包含设置在该腔内的第一干燥插入元件和第二干燥插入元件, 使得该至少一个光波导设置在该第一干燥插入元件和该第二干燥插入元件之间。



1. 一种光纤缆线,包含:  
至少一个光波导,其中该至少一个光波导是光纤带的一部分;  
缆线包壳,该缆线包壳具有位于其内的腔,并且该腔具有主表面,其中该至少一个光波导至少部分地设置在该腔内;  
设置在该腔的相对侧的至少两个强度元件;以及  
第一干燥插入元件和第二干燥插入元件,该第一和第二干燥插入元件设置在该腔内,使得该至少一个光波导设置在该第一干燥插入元件和该第二干燥插入元件之间,该第一和第二干燥插入元件提供对该至少一个光波导的耦合力,其中该光纤带具有在大约 0.5N/m 和大约 5.0N/m 的范围内的归一化拉拔力,并且该第一干燥插入元件具有与该腔的该主表面大致对齐的主表面。
2. 权利要求 1 的光纤缆线,该至少一个光波导具有大约为 0.2% 或更大的过剩带长度。
3. 权利要求 1 的光纤缆线,该第一和第二干燥插入元件具有组合的未压缩高度,该组合的未压缩高度为腔高度 (CH) 的大约 40% 或更大。
4. 权利要求 1 的光纤缆线,该至少两个强度元件之一具有强度元件尺寸 (D),其中该腔具有腔高度 (CH),并且该腔高度 (CH) 大于该强度元件尺寸 (D)。
5. 权利要求 1 的光纤缆线,该腔具有大致矩形形状,并且该至少一个光波导为光纤带的一部分。
6. 权利要求 1 的光纤缆线,该光纤缆线的次缆线尺寸 (H) 为大约 8 毫米或更小,并且该光纤缆线的主缆线尺寸 (W) 为大约 15 毫米或更小。
7. 权利要求 1 的光纤缆线,该第一或第二干燥插入元件之一具有可压缩层和水可膨胀层。
8. 权利要求 1 的光纤缆线,该第一干燥插入元件包含水可膨胀层,其中该水可膨胀层向外面向该腔。
9. 权利要求 1 的光纤缆线,该至少一个光波导与该第一干燥插入元件的至少一部分相接触。
10. 一种制造光纤缆线的方法,包含步骤:  
放线至少一根光纤,其中该至少一根光纤是光纤带的一部分;  
放线第一干燥插入元件;  
放线第二干燥插入元件;  
将该至少一根光纤定位在该第一干燥插入元件与该第二干燥插入元件之间,由此形成缆线芯;以及  
围绕该缆线芯施加缆线包壳,使得该第一干燥插入元件和该第二干燥插入元件提供对该至少一根光纤的耦合力,其中该光纤带具有在大约 0.5N/m 和大约 5.0N/m 的范围内的归一化拉拔力。
11. 权利要求 10 的方法,还包含步骤:提供至少一个强度元件,其中该至少一个强度元件在一部分生产过程中被弹性拉伸,由此在将张力从该至少一个强度元件上移除之后,在该缆线内提供该至少一根光纤的过剩光纤长度。
12. 权利要求 10 的方法,还包含步骤:提供至少一个强度元件,其中该至少一个强度元件在一部分生产过程中被弹性拉伸,由此在将张力从该至少一个强度元件上移除之后,在

该缆线内提供该光纤带的过剩带长度。

13. 权利要求 10 的方法,还包含步骤:放线多根光纤带,其中该至少一根光纤是该多根光纤带之一的一部分。

14. 权利要求 10 的方法,还包含放线用于保护该光纤缆线的铠装层的步骤。

## 具有干燥插入元件的光纤缆线及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明大体涉及光波导的干燥封装。特别是,本发明涉及用于通信系统的光学组件,该光学组件包括用于保护至少一个光波导的至少一个干燥插入元件。

### 背景技术

[0002] 光纤缆线包含诸如光纤的光波导,该光纤传输例如声音、视频和 / 或数据信息的光学信号。一种类型的光纤缆线构造包括设置在管子内的光波导,由此形成管组件。通常来说,管子保护光波导;然而,光波导必须在管子内被进一步保护。例如,光波导应当在光波导和管子之间具有一定相对运动以适应弯曲。另一方面,光波导应当与管子充分地耦合,由此,例如当施加拉力以安装缆线时,防止光波导在管子内发生位移。另外,管组件应当防止水在其内流动。此外,管组件应当能够在一定温度范围下工作而不产生不适当的光学性能的劣化。

[0003] 传统的光学管组件通过在管子中填充诸如油脂的触变性 (thixotropic) 材料来满足这些要求。触变性材料通常允许在光波导和管子之间具有适当的运动、缓冲以及光波导的耦合。另外,触变性材料对阻止水在管子内流动是有效的。然而,在对光波导进行连接 (connectorization) 之前必须将触变性材料从光波导上清除。从光波导上清除触变性材料是肮脏并且耗时的过程。另外,触变性材料的粘度通常具有温度依赖性。由于粘度的改变,在相对高的温度下,触变性材料可能从管子的末端滴落,并且在相对低的温度下,触变性材料可能造成光学衰减。

[0004] 已经尝试了缆线设计以从管子上去除触变性材料,但是由于这些设计不能满足所有要求和 / 或在制造上很昂贵,因此它们通常并不适用。从管子上去除触变性材料的一个实例是美国专利 No. 4, 909, 592, 其披露了一种管子,该管子具有设置于其内的传统的水可膨胀的带子和 / 或纱线。例如,传统的水可膨胀的带子典型地由其间夹置了水可膨胀粉末的两层薄的无纺层形成,由此形成不填充缓冲管内的空间的相对薄的带子。因此,由于该未被填充的空间,所以传统的水可膨胀的带子并不提供与光波导的合适耦合。另外,该空间允许管子内的水沿着管子流动,而不是被传统的水可膨胀的带子所容纳。由此,这种设计要求在管子内具有大量水可膨胀的元件,用于使光纤与管子耦合。另外,缓冲管内大量水可膨胀的元件的使用是不经济的,因为这增加了缆线成本的同时还增加了制造的复杂性。

[0005] 从光纤缆线上去除触变性材料的另一个实例是美国专利 No. 6, 278, 826, 其披露了一种具有大于零的含水量的泡沫材料,其装载有超吸收聚合物。据描述,这种泡沫材料的含水量提高了泡沫材料的阻燃特性。同样地,这种设计的泡沫材料相对昂贵,增加了缆线的成本。

[0006] 附图简要说明

[0007] 图 1 是本发明的管组件的截面图。

[0008] 图 1a 是本发明的另一管组件的截面图。

[0009] 图 2 是图 1 的管组件的干燥插入元件的截面图。

- [0010] 图 2a 是描绘三种不同的干燥插入元件的压缩曲线的曲线图。
- [0011] 图 2b-2d 是将粘合剂 / 胶水施加到图 2 的干燥插入元件的不同构造。
- [0012] 图 3 是描绘不同管子构造的光学带拉拔力的柱状图。
- [0013] 图 4 是本发明的生产线的示意性图示。
- [0014] 图 5 是本发明一个实施例的光纤缆线的截面图。
- [0015] 图 6 是描绘与各种缆线构造相关的光学带耦合力的曲线图。
- [0016] 图 7 是本发明的概念的另一干燥插入元件的透视图。
- [0017] 图 8 是本发明的概念的另一干燥插入元件的截面图。
- [0018] 图 9 是本发明的概念的另一干燥插入元件的透视图。
- [0019] 图 10 是本发明的概念的另一干燥插入元件的透视图。
- [0020] 图 11 是具有填充了传统油脂的管组件的缆线的截面图。
- [0021] 图 12 是具有传统的干燥管组件的缆线的截面图。
- [0022] 图 13 是本发明的具有铠装层的光纤缆线的截面图。
- [0023] 图 14 是本发明的无管光纤缆线的截面图。
- [0024] 图 15 是本发明的具有绞合的管子的气管缆线的截面图。
- [0025] 图 16 和 17 是本发明的无管光纤缆线的截面图。
- [0026] 图 18 和 18a 是本发明其他光纤缆线的截面图。
- [0027] 图 18b 是描绘在图 18 内的光纤缆线的腔体的示意性图示。
- [0028] 图 19 和 19a 分别是描绘具有零过剩带长度 (ERL) 和正的 ERL 的缆线的示意性图示。
- [0029] 图 19b 和 19c 是在图 19 和 19a 的缆线弯曲期间该缆线的示意性图示。
- [0030] 图 20 是本发明的具有多个干燥插入元件的气管缆线的截面图。
- [0031] 图 21-25 是本发明的其他光纤缆线的截面图。
- [0032] 图 26 是用于制造本发明的图 18 的缆线的生产线的示意性图示。

### 具体实施方式

[0033] 以下参考示出本发明的优选实施例的附图更完整地描述本发明。然而,本发明可以被具体化为许多不同的形式,并且不应当被解释为局限于此处所述的实施例;而是,提供这些实施例使得所披露的内容向本领域技术人员完整地传达本发明的范围。这些图不必按照比例描绘,而是被构造为清楚地描绘本发明。

[0034] 图 1 中描绘的是本发明一个方面的示范性管组件 10。管组件 10 包括至少一个光波导 12, 诸如光纤, 至少一个干燥插入元件 14, 以及管子 18。在这种情况下, 该至少一个光波导 12 为带堆叠 13 的形式, 该带堆叠具有跨过该堆叠的角的对角线 D 尺寸。干燥插入元件 14 大体围绕该至少一个光波导 12, 并且形成设置在管子 18 内的芯 15。干燥插入元件 14 实现诸如缓冲、耦合、防止水的流动以及适应弯曲的功能。由于在连接之前光波导容易从中移出而没有留下需要进行清洁的残留物或者膜, 因此干燥插入元件 14 是有利的。另外, 与传统的触变性材料不同, 干燥插入元件 14 并不随着温度变化而改变粘度或在高温下具有从管子的端部滴落的倾向。另外, 管组件 10 能够包含其他合适的元件, 诸如聚酯滚边线 17, 以将干燥插入元件 14 围绕光波导 12 固定。类似的, 可以将两个或多个线缝合在一起用于在

将管子 18 围绕该干燥插入元件 14 挤出之前固定该干燥插入元件 14。图 1a 示出了管组件 10'，它是管组件 10 的变形例。具体地，管组件 10' 包含多个疏松的光波导 12，而不是带堆叠 13。在这种情况下，管组件 10' 包含具有对角线尺寸 D 的二十四根疏松的光波导 12，但是也可以使用任何合适数量的光波导。另外，可以利用结合件、水可膨胀丝线、带子、包裹物或其他合适的材料将光波导 12 捆束为一个或多个组。此外，管组件 10 或 10' 可以是如图 5 所示的缆线的一部分。另外，本发明的干燥插入元件 14 可以以无管缆线设计的方式使用。

[0035] 如所描绘的，光波导 12 是形成光纤带的一部分的光纤。在这种情况下，光波导是形成带堆叠 13 的带形式的多根单模光纤。带堆叠 13 可以包含螺旋状或 S-Z 状绞合。此外，可以使用其他类型或构造的光波导。例如，光波导 12 可以是多模的、纯模的、掺铒的、偏振保持光纤、其他合适类型的光波导和 / 或其组合。另外，光波导 12 可以是疏松的或束状形式。每个光波导 12 可以包含用于传输光信号并被基于二氧化硅的包层所包围的基于二氧化硅的芯，该包层具有低于该芯的折射率。此外，可以将一个或多个涂层施加到光波导 12 上。例如，柔软的初级涂层围绕该包层，并且相对刚性的次级涂层围绕该初级涂层。在一个实施例中，一个或多个光波导 12 包括如于 2003 年 7 月 18 日提交的美国专利申请序列号 No. 10/632, 219 所披露的涂层系统。光波导 12 也可以包含识别装置，诸如油墨或其他合适的用于识别的标记。当然，光波导也可以包含紧密的缓冲层。合适的光纤在市场上可由位于纽约的 Corning Incorporated of Corning 的公司提供。

[0036] 在另一实施例中，带堆叠 13 可以具有角落光波导 12a，角落光波导 12a 具有预定 MAC 数，由此防止当受到压缩力时角落光波导的光学衰减。换一种说法，选择具有预定 MAC 数的角落光波导，在受到相对高水平的压缩的带堆叠位置设置光学衰减对压缩力较小敏感度的光波导。在其他实施例中，带堆叠中的所有光波导 12 可以具有预定的 MAC 数。如此处所使用的，对于给定光波导 12a，在两个数量都以微米表示的情况下，将 MAC 数计算为模场直径 (MFD) 除以截止波长，由此 MAC 数是无量纲的。换句话说，MFD 被典型地以微米表示，并且截止波长典型地以纳米表示，由此截止波长必须除以 1000，以将其转换为微米，由此产生无量纲的 MAC 数。

[0037] 作为实例，MAC 数为大约 7.35 或更小，更优选的为大约 7.00 或更小，并且最优选的为大约 6.85 或更少；然而，对于 MAC 数，存在下限。作为实例，将角落光波导 12a 选择为具有  $9.11 \mu\text{m}$  或更小的 MFD 以及 1240nm 或更大的截止波长，由此产生 7.35 或更小的 MAC 数。一般而言，MAC 数与 MFD 成正比，而与截止波长成反比。带堆叠 13 具有四个角落光波导 12a；然而，其他带堆叠构造可以包含更多个角落位置。例如，具有大体加号形状的带堆叠包含八个外角。类似的，其他带堆叠构造可以具有其他数量的角落位置。

[0038] 此外，本发明的带的实施例可以具有正的过剩带长度 (ERL)，尽管对于某些缆线设计，负的 ERL 是可能的，但是一般而言，可能对性能有影响。如此处所使用的，将 ERL 定义为特定的带的长度减去容纳该带的管子或缆线的长度，再除以容纳该带的管子或缆线的长度，其可以通过乘以 100 而表示为百分数。是利用管子长度还是缆线长度来计算 ERL 取决于特定的构造。另外，缆线的各个带可以具有不同的 ERL 值。作为实例，缆线 50 的带具有正的 ERL，诸如在大约 0.0% 至大约 0.4% 或更大的范围内的正的 ERL，但是其他合适的值也是可能的。类似的，具有疏松或捆束的光纤的实施例在缆线构造上可以包含在合适范围内

的正的过剩光纤长度 (EFL)。

[0039] 图 2 描绘了解释性干燥插入元件 14 的截面图。干燥插入元件 14 由能够从放线盘放线以在制造期间连续地供应的拉长的一种或更多种材料形成。干燥插入元件 14 可以由能够实现不同功能的多个层形成;然而,干燥插入元件可以是单个层,诸如可压缩的毛毡材料,并且可选择地可以包含阻水/水可膨胀的特征。干燥插入元件 14 衬垫在光波导 12 和管子 18 之间,由此将光波导 12 在 1310nm 的参考波长处的光学衰减保持在低于大约 0.4dB/km,在 1550nm 和 1625nm 的参考波长处的保持在 0.3dB/km。但是诸如对于 1310 和 1550 参考波长为 0.35/0.25 的其他合适的光学衰减值也是可能的。在一个实施例中,干燥插入元件 14 由两个不同的层形成。例如,图 2 描绘了其可为可压缩的层的干燥插入元件 14 的第一层 14a 和其可为水可膨胀层的第二层 14b。在这种情况下,第一层 14a 由具有预定弹簧常数的可压缩材料形成,用于提供合适的耦合特性。作为实例,第一层是泡沫材料带子,诸如开放单元泡沫材料带子;然而,可以使用任何合适的可压缩材料,诸如封闭单元泡沫材料带子。如图 2 所示,第二层 14b 可以具有任何合适的构造,并且在优选实施例中是具有一个或多个元件的合适的水可膨胀的带子。例如,水可膨胀的带子可以具有如图 2 的两个不同细节泡状体中所示的不同构造,但是通常包含至少一个带子,诸如具有多个水可膨胀颗粒 14e 的无纺带子 14f。然而,干燥插入元件 14 可以包括由一种或更多种材料形成的其他类型的颗粒。

[0040] 第一层 14a 和第二层 14b 优选通过粘合剂 14d 固定在一起,以便需要大约 5 牛顿 (N) 或更大的力来分离这些层。在制造期间,粘合剂 14d 可以喷射到这些层的一个或两者上,由此形成防止形成粘合剂的聚集的细微薄雾;然而,其他合适的施加方法也是可能的。但是,粘合剂可以具有其他形式,诸如被施加到一层或多层的粉末。无论所使用的粘合剂的形式怎样,当将干燥插入元件围绕光波导放置时,其都不应当造成衰减水平的提高。类似的,水可膨胀的颗粒或聚集颗粒,诸如粘合剂和/或水可膨胀的颗粒,不应当造成微弯。换句话说,粘合剂 14d 或诸如粘合剂和水可膨胀粉末的其他聚集材料的平均颗粒尺寸应当相对小,诸如 600 微米或更小,优选大约 450 微米或更小,最优选为大约 300 微米或更小,由此,即使颗粒通过干燥插入元件 14 的一部分挤压光波导,它们也不会造成微弯水平的提高。如此处所使用的,平均颗粒尺寸是指用于干燥插入元件 14 中的一种或者更多种材料的颗粒。

[0041] 如在图 2 的右侧详细泡状体中所示的那样,第二层 14b 是具有设置在两无纺带状材料 14f 之间的水可膨胀颗粒 14e 的水可膨胀带子,其通过粘合剂 14d 固定到第一层 14a。由于在第一层 14a 和水可膨胀颗粒 14e 之间起缓冲作用的无纺带的存在,这种构造防止了颗粒造成微弯。水可膨胀粉末的平均颗粒尺寸应当相对小,诸如 600 微米或更小,优选大约 450 微米或更小,并且更优选为大约 300 微米或更小,以便即使水可膨胀颗粒对穿过干燥插入元件 14 的一部分的光波导施压,它们也不会造成微弯水平的提高。第二层 14b 可以具有其他构造,如在图 2 的左侧详细泡状体中所示的那样。具体地,该实施例示出了固定到单个无纺带 14f 的一侧上的水可膨胀颗粒 14e,该单个无纺带 14f 然后固定到可压缩的第一层 14a 上,使得水可膨胀颗粒 14e 设置在第一和第二层之间,而没有缓冲层。在该构造中,粘合剂 14f 起固定水可膨胀颗粒 14e 的作用,以及起将干燥插入元件 14 的第一和第二层 14a、14b 固定在一起的作用。然而,干燥插入元件 14 的这种结构通常导致由粘合剂和水可

膨胀颗粒形成的聚集材料的更大平均颗粒尺寸。换句话说,等于这种干燥插入元件构造中的平均颗粒尺寸的所有物体通常更大,因为其与仅有水可膨胀颗粒的情况相比产生了聚集颗粒。因此,如果平均颗粒尺寸变得太大,这可能造成微弯增大。由此在这种构造中,聚集或合成颗粒的平均颗粒尺寸应当在与上述相同的范围内,用于防止微弯。

[0042] 类似的,干燥插入元件 14 的内表面不应当造成微弯水平的提高。由此,在优选实施例中,能够与光波导相接触的层的表面应当具有相对光滑的表面。例如,如果将泡沫材料用作干燥插入元件 14 的第一层 14a,那么该泡沫材料的平均单元尺寸为大约 1000 微米或更小,并且可以是大约 700 微米或更小,由此形成相对光滑的表面。此外,泡沫材料可以具有不同尺寸单元的层,诸如远离光波导的较大单元和在能够与光波导接触的泡沫材料的表面附近的较小的单元。其他变形例包括使泡沫材料层的表面光滑的表面处理。表面处理包括加热使表面平滑或在单元中填充合适的材料。此外,诸如泡沫材料的第一层 14a 缓冲了干燥插入元件 14 的水可膨胀颗粒和 / 或粘合剂,以免产生微弯。

[0043] 在一个实施例中,第一层是开放单元的聚氨基甲酸酯 (PU) 泡沫材料带。PU 泡沫材料带既可以是醚基 PU,也可以是酯基 PU,但是也可以使用其他合适的泡沫材料带可压缩层,诸如聚乙烯泡沫材料,聚丙烯泡沫材料,或 EVA 泡沫材料。然而,优选的实施例采用醚基泡沫材料带,因为当遇到湿气时,其比酯基 PU 泡沫材料表现得更好,而醚基 PU 泡沫材料通常对湿气更坚固。此外,泡沫材料层具有大体在大约 1lb/ft<sup>3</sup> 至大约 3lb/ft<sup>3</sup> 范围内的预定密度,但是在优选实施例中该密度为大约 2lb/ft<sup>3</sup>。干燥插入元件 14 还具有预定的极限抗拉强度,以在生产期间防止损坏。一般而言,对于同时具有可压缩层和水可膨胀层的干燥插入元件,多数抗拉强度由水可膨胀层提供。干燥插入元件的极限抗拉强度优选为干燥插入元件 14 的每厘米宽度 W 为大约 20 牛顿或更大,更优选的是干燥插入元件 14 的每厘米宽度 W 为大约 30 牛顿或更大。

[0044] 干燥插入元件 14 可以具有使得水可膨胀物质的大部分膨胀高度在曝露在水中的大约 120 秒或更少的时间内产生的水膨胀速度,更优选的是大约 90 秒或更少。作为实例,在无限限制膨胀状态下,干燥插入元件 14 可以具有对于蒸馏水为大约 18mm 的最大膨胀高度,以及对于 5% 的离子水溶液、例如盐的水溶液为大约 8mm 的最大膨胀高度;然而,也可以使用具有其他合适的最大膨胀高度的干燥插入元件。管组件可以被构造为具有大约 3 或更大,大约 5 或更大,以及高至大约 7 或更大的水膨胀比率。将水膨胀比率定义为干燥插入元件的无限限制截面膨胀状态面积除以管组件内的自由空间。对于圆形的缆线,管组件的自由空间被定义为管子的内直径的面积减去光波导所占据的面积。例如,如果干燥插入元件具有 50mm<sup>2</sup> 的无限限制的截面膨胀状态面积,并且管子具有 10mm<sup>2</sup> 的自由空间,那么水膨胀比率为 5。

[0045] 在组装期间干燥插入元件 14 可以被压缩,由此其提供预定法向力,该预定法向力防止光波导 12 容易沿管子 18 纵向地偏移。干燥插入元件 14 优选具有大约 5mm 或更小的未压缩高度 h,用于使诸如管子直径和 / 或圆形缆线的缆线直径这样的缆线尺寸最小化;然而,对于干燥插入元件 14 可以使用任何合适的高度 h。此外,干燥插入元件 14 的高度 h 不需要跨过整个宽度恒定,而是可以改变,由此与光波导的横截面形状一致,并提供改进的缓冲,以改善光学性能(图 10)。第二层 14b 是水可膨胀层,诸如防止水在管子 18 内流动的带子。



[0046] 干燥插入元件 14 的压缩实际上是干燥插入元件 14 的局部化最大压缩。在图 1 的情况下,干燥插入元件 14 的局部化最大压缩发生在跨过直径的带堆叠的角落处。在其他缆线设计中,诸如在图 18 中所描绘的,如将要讨论的那样,干燥插入元件的局部化最大压缩通常发生在波浪状的带堆叠的最大振幅处。计算图 1 中的干燥插入元件 14 的压缩百分比需要知道管子 18 的内径,带堆叠的对角线 D 尺寸以及干燥插入元件 14 的未压缩高度。作为实例,管子 18 的内径为 7.1mm,带堆叠的对角线 D 为 5.1mm,并且干燥插入元件 14 跨过直径的未压缩高度 h 为 3.0mm(1.5mm 的 2 倍)。求和对角线 D(5.1mm) 和干燥插入元件 14 跨过直径的未压缩高度 h(3.0mm),得到 8.1mm 的未压缩尺寸。当将带堆叠和干燥插入元件 14 放置到具有 7.1mm 内径的管子 18 内时,干燥插入元件整体被压缩 1mm(8.1mm-7.1mm)。由此,干燥插入元件 14 跨过管子 18 的直径被压缩大约百分之三十。

[0047] 图 2a 是描绘三种不同的干燥插入元件 14 的示范性压缩曲线 200、202 和 204 的曲线图。具体地,曲线 200 和 202 表示两种不同的干燥插入元件,其每一个具有可压缩开放单元醚基 PU 泡沫材料层和水可膨胀层。曲线 200 和 202 分别表示具有大约 1.5mm 和大约 1.8mm 的高度 h 的干燥插入元件。另一方面,曲线 204 表示具有大约 1.8mm 的高度的可压缩开放单元酯基 PU 泡沫材料层和水可膨胀层的干燥插入元件。通过将干燥插入元件样品放在具有大约 2.2 英寸直径的两圆形板之间,同时利用 Instron 机器测量压缩该样品所需要的力来产生压缩曲线。

[0048] 如所示,所有三种干燥插入元件 14 的压缩曲线在压缩范围内大体是非线性的。但是一般而言,压缩曲线 200、202 和 204 具有高至大约 0.70mm 的大体线性的压缩。在一个实施例中,干燥插入元件 14 对于大约 10 牛顿的力具有大约 1.0 或更小的压缩。一般而言,在水可膨胀层相对不可压缩时,泡沫材料层被压缩。

[0049] 在其他实施例中,干燥插入元件 14 的第一层 14a 在管组件 10 内是不可压缩的,而是在光波导开始运动时才开始压缩。其他变形例包括将干燥插入元件 14 的一部分固定或连接到管子 18。例如,粘合剂、胶水、弹性体和 / 或聚合物 14c 被设置在干燥插入元件 14 的与管子 18 接触的一部分表面上,用于将干燥插入元件 14 固定到管子 18。例如,层 14c 是在管子 18 的挤出期间至少部分熔融的聚合物层,由此在其间形成连接。此外,围绕光波导 12 螺旋地缠绕干燥插入元件 14 而不是纵向地设置也是可能的。在进一步的实施例中,可以围绕一个或更多个光波导 12,诸如设置在管子 18 内的两半,形成两个或更多个干燥插入元件。

[0050] 其他实施例可以包括将易挥发的胶水 / 粘合剂用于使缆线芯 15 和 / 或干燥插入元件 14 与管子 18 耦合。例如在生产过程期间,将胶水 / 粘合剂或类似物施加到干燥插入元件 14 的径向外表面。施加易挥发的胶水 / 粘合剂,同时加热或熔融到干燥插入元件 14 的外表面,然后当缆线被淬火或冷却时冷却或冷冻。作为实例,合适的易挥发胶水可由位于新泽西州 Bridgewater 市的 National Starch and Chemical Company 提供,商品名为 **LITE-LOK®** 70-003A。易挥发胶水或其他合适的粘合剂 / 材料可以施加到如图 2b-2d 所示的具有连续或间断构造的珠子 (beads) 内。例如,一种或更多种粘合剂 / 胶水可以是沿干燥插入元件纵向施加、纵向间隔的珠子,沿干燥插入元件的纵轴呈锯齿状的珠子,或任何其他合适的构造。

[0051] 在一种应用中,将多个易挥发胶水 / 粘合剂或类似物的珠子施加到干燥插入元件

14. 例如, 可以将三个连续的或非连续的珠子设置在这样的位置, 其使得当干燥插入元件围绕带堆叠形成时珠子以大约 120 度分离。类似的, 可以将四个珠子设置在这样的位置, 其使得当干燥插入元件围绕光波导形成时它们以大约 90 度分离。在具有沿纵轴分离的珠子的实施例中, 珠子可以具有大约 20mm 和大约 800mm 或更大的纵向间隔  $S$ ; 然而, 可以使用其他合适的空间间隔。此外, 珠子可以断续地施加, 用于使所需要的材料的量最小化, 由此降低生产费用, 同时仍然提供足够的耦合 / 粘合。

[0052] 由于管组件 10 并没有填充触变性材料, 因此管子可能变形或塌陷, 由此形成卵形管子而不是圆形管子。于 2003 年 5 月 30 日提交的美国专利申请号 10/448, 509 讨论了干燥管组件, 其中该管子由具有预定平均椭圆度的双态 (bimodal) 聚合物材料形成。如此处所使用的, 椭圆度是管子 18 的大直径  $D1$  和小直径  $D2$  之间的差除以大直径  $D1$  并乘以 100 的因子, 由此将椭圆度表示为百分数。双态聚合物材料包括在双反应器过程中制造的至少具有相对高分子量的第一聚合物材料和相对低分子量的第二聚合物材料的材料。这种双反应器过程提供所需要的材料特性, 并且不应当与损害混合物中的两种树脂的性质的单个后反应器聚合物混合物 (single post reactor polymer blends) 相混淆。在一个实施例中, 管子具有大约百分之 10 或更小的平均椭圆度。作为实例, 管子 18 由位于密歇根州 Midland 市的 Dow Chemical Company 提供的 HDPE, 商品名为 DGDA-2490NT。

[0053] 图 3 是描绘各种管子和 / 或缆线构造的归一化光学带拉拔力 (N/m) 的柱状图。带的拉拔力测试测量带堆叠开始沿其整个长度移动 10 米缆线长度所需要的力。当然, 这种拉拔力测试同样可应用于疏松或束状光波导。具体地, 带的堆叠被从管子拉出并且将使带的整个长度开始运动所需要的力除以缆线的长度, 由此将光学带拉拔力归一化。作为用于比较的基线, 柱 30 描绘了位于填充在管子中的传统的油脂 (触变性材料) (图 11) 中 120 根光纤的带堆叠的大约 4.8N/m 的带的拉拔力。柱 31 描绘了单独具有围绕 144 根光纤的带堆叠的水可膨胀带子的传统干燥管设计 (类似于图 12) 的带的拉拔力, 其被疏松地设置在管子内。具体地, 柱 31 描绘了 144 根光纤的带堆叠的大约 0.6N/m 的带的拉拔力。由此, 传统的干燥管设计 (图 12) 具有传统的油脂填充管 (图 11) 的带的拉拔力的大约百分之十二的带的拉拔力, 这对于适当的缆线性能是不合适的。

[0054] 柱 32、34、36 和 38 表示本发明的管组件, 并且柱 39 表示描绘于图 18 中的缆线 180。具体地, 柱 32 描绘了来自具有干燥插入元件 14 的管组件 10 的 144 根光纤堆叠的带的拉拔力, 并且该干燥插入元件 14 具有大约 1.5mm 的未压缩高度  $h$  并且以零百分比对干燥插入元件 14 压缩。在这一实施例中, 柱 32 表示大约 1.0N/m 的带的拉拔力, 这是对传统干燥管的令人惊讶的改进。柱 34 和 36 表示干燥插入元件 14 通过其原始高度对平均压缩高度的百分比表示的在管组件 10 内被压缩的构造。更具体地, 柱 34 表示类似于柱 32 的管组件的带的拉拔力, 除了在这一实施例中干燥插入元件 14 被压缩大约百分之三十之外。在这一实施例中, 柱 34 描绘了大约 2.7N/m 的带的拉拔力。柱 36 表示来自具有大约 3mm 的未压缩高度  $h$  的干燥插入元件 14 的管组件的 144 根光纤带堆叠的带的拉拔力, 该干燥插入元件 14 在管子内被压缩大约百分之三十。在这一实施例中, 柱 36 描绘了大约 0.5N/m 的带的拉拔力。柱 38 表示来自具有干燥插入元件 14 的管组件 10 的 144 根光纤堆叠的带的拉拔力, 并且该干燥插入元件 14 具有大约 1.5mm 的未压缩高度  $h$  并且对干燥插入元件 14 和胶水珠压缩百分之十七。在这种情况下, 四个胶水珠沿干燥插入元件被连续地纵向施加, 使得其以大

约 90 度分离。本实施例的带的拉拔力为大约 4.0N/m。如所示, 粘合剂 / 胶水珠的应用通过较小的干燥插入元件的压缩增大了带的拉拔力。由此, 根据本发明的概念, 干燥插入元件 14 的压缩可以在大约 10% 至大约 90% 的范围内; 然而, 根据构造, 其他合适的压缩范围甚至没有压缩可以提供所需要的性能。尽管如此, 干燥插入元件 14 的压缩不应当大到在任何光波导内产生过度的光学衰减, 并且能够随着粘合剂 / 胶水珠的使用而增大。柱 39 描绘了如在下面更详细地讨论的来自缆线 180 的缆线包壳 188 的 96 根光纤四带堆叠的大约 1.5N/m 的带的拉拔力。优选地, 带的拉拔力, 或其他光波导构造的拉拔力, 在大约 0.5N/m 和大约 5.0N/m 的范围内, 更优选地, 在大约 1N/m 至大约 4N/m 的范围内。

[0055] 图 4 示意性描绘了本发明的管组件 10 的示范性生产线 40; 然而, 可以使用该概念的其他变形例来生产根据本发明的概念的其他组件和 / 或缆线。生产线 40 包括至少一个光波导放线盘 41, 干燥插入元件放线盘 42, 可选择的压缩工作台 43, 胶水 / 粘合剂工作台 43a, 结合工作台 44, 十字头挤出机 45, 水槽 46 和收线盘 49。此外, 管组件 10 可以具有围绕于其上的护套 20, 由此形成如图 5 所示的缆线 50。护套 20 可以包括强度元件 19a 和包壳 19b, 其可以在与管组件 10 相同的生产线上或者在第二生产线上制造。该解释性制造过程包括从各个放线盘 41 和 42 放线至少一个光波导 12 和干燥插入元件 14。为了清楚起见, 仅示出了用于光波导 12 和干燥插入元件 14 一个放线盘; 然而, 生产线可以包含任何合适数量的放线盘以生产本发明的管组件和缆线。然后, 在压缩工作台 43 上将干燥插入元件 14 压缩到预定高度 h, 并在工作台 43a 上将可选择的粘合剂 / 胶水施加到干燥插入元件 14 的外表面。然后将干燥插入元件 14 大体围绕光波导 12 定位, 并且如果需要, 结合工作台围绕干燥插入元件 14 缠绕或缝合一个或多个绑扎线, 由此形成芯 15。此后, 将芯 15 送入到十字头挤出机 45, 在那里将管子 18 围绕芯 15 挤出, 由此形成管组件 10。然后在水槽 46 中对管子 18 淬火, 然后将管组件 10 卷绕到收线盘 49 上。如在方框中所描绘的, 如果一个生产线被装配为制造缆线 50, 那么将强度元件 19a 从放线盘 47 放线并与管子 18 相邻定位, 并且利用十字头挤出机 48 将包壳 19b 围绕强度元件 19a 和管子 18 挤出。此后, 缆线 50 在卷绕到收线盘 49 之前穿过第二水槽 46。此外, 根据本发明的概念的其他缆线和 / 或生产线是可能的。例如, 缆线和 / 或生产线可以包括在管子 18 和强度元件 19a 之间的水可膨胀带子 19c 和 / 或铠装; 然而, 其他合适的缆线元件的使用是可能的。

[0056] 图 6 是示出具有类似于图 3 所使用的管组件的缆线的带的耦合力的结果的曲线图。将带的耦合力测试用于模仿当使缆线例如在缆线的安装期间受到拉拔时施加到光波导上的力。尽管带的拉拔力和带的耦合力之间的结果可能具有在同样大体范围内的力, 但是带的耦合力通常更好地表示实际的缆线性能。

[0057] 在这种情况下, 带的耦合测试通过在缆线端部的各个护套上放置拉伸滑轮, 对 250m 长度的缆线施加 600 磅的张力, 来模拟地下缆线在管道内的安装。然而, 可以将其他合适的负载、长度和 / 或安装构造用于表征其他模拟中的带的耦合。于是, 从缆线的端部测量光波导沿其长度上的力。利用布里渊光学时域反射计 (BOTDR) 来测量光波导上的力。决定曲线的最佳拟合斜率使带的耦合力归一化。

[0058] 作为用于比较的基线, 曲线 60 描绘了在传统的油脂填充的缆线 (图 11) 中具有 120 根光纤的带堆叠的缆线的大约 1.75N/m 的归一化的带的耦合力。曲线 62 描绘了具有围绕 144 根光纤的带堆叠的水可膨胀带子的传统干燥管设计的缆线 (图 12) 的带的拉拔力,

这些光纤疏松地设置在管子内。具体地,曲线 62 描绘了 144 根光纤的带堆叠的大约 0.15N/m 的归一化的带的耦合力。由此,传统的干燥管设计(图 12)具有大约为传统的油脂填充管(图 11)的归一化的带的耦合力的大约百分之九的归一化的带的耦合力,这对于合适的缆线性能是不适当的。换句话说,在缆线护套的拉伸期间,例如,在缆线安装期间的架空结冰负载(aerial ice loading)、架空飞速前进(aerial galloping)、缆线挖掘以及拉拔期间,传统干燥管缆线的带堆叠容易位移。

[0059] 曲线 64、66、68 和 69 表示本发明的缆线。具体地,曲线 64 表示具有管组件 10 的 144 根光纤堆叠的缆线的带的耦合力,该管组件 10 具有未压缩高度  $h$  大约为 1.5mm 的干燥插入元件 14,且该干燥插入元件 14 为百分之零压缩。在本实施例中,曲线 64 表示大约 0.80N/m 的带的耦合力,这是对图 12 的传统干燥缆线的改进。曲线 66 和 68 表示这样的缆线构造,其中干燥插入元件 14 在管组件 10 内以从其原始高度被压缩到平均压缩高度的百分比被压缩。更具体地,曲线 66 表示类似于曲线 64 的缆线的带的耦合力,除了在本实施例中干燥插入元件 14 被压缩大约百分之三十之外。在本实施例中,曲线 66 表示大约 2.80N/m 的带的耦合力。曲线 68 表示具有 144 根光纤的带堆叠的缆线的带的耦合力,其来自具有未压缩高度  $h$  为大约 3mm 的干燥插入元件 14 的管组件的缆线,该干燥插入元件 14 在管子内被压缩大约百分之三十。在本实施例中,曲线 68 表示大约 0.75N/m 的带的耦合力。曲线 69 表示具有 144 根光纤的带堆叠的缆线的带的耦合力,该带的耦合力来自具有未压缩高度  $h$  为大约 1.5mm 的干燥插入元件 14 的管组件的缆线,该干燥插入元件 14 在管子内被压缩大约百分之十七,并且包含粘合剂/胶水珠子。在这种情况下,将四个胶水珠子沿干燥插入元件连续地纵向施加,使得其以大约 90 度间隔。如所示,曲线 69 表示类似于曲线 66 的带的耦合力,为大约 2.80N/m,并且对干燥插入元件较少压缩。由此,根据本发明的概念,带的耦合力优选在大约 0.5N/m 至大约 5.0N/m 的范围内,更优选在大约 1N/m 至大约 4N/m 的范围内。然而,其他合适的带的耦合力的范围可以提供所需要的性能。

[0060] 另外,可以将本发明的概念用于干燥插入元件的其他构造。如图 7 所描绘的,干燥插入元件 74 具有第一层 74a 和包含不同的合适类型的水可膨胀物质的第二层 74b。在一个实施例中,两种不同的水可膨胀物质设置在第二层 14b 内或第二层 14b 上,由此管组件 10 对多种环境是有用的和/或提高了阻水性能。例如,第二层 14b 可以包含对诸如盐水的离子化的液体有效的第一水可膨胀元件 76,和对非离子化的液体有效的第二水可膨胀元件 78。作为实例,第一水可膨胀材料是聚丙烯酰胺,而第二水可膨胀材料是聚丙烯酸酯吸收剂。另外,第一和第二水可膨胀元件 76、78 可以占据水可膨胀带子的预定部分。通过使水可膨胀材料交替设置,该带子对标准应用、盐水应用或者二者同时应用的情况都是有用的。不同水可膨胀物质的其他变形例包括具有不同的膨胀速率、凝胶强度和/或与带子的粘合性的水可膨胀物质。

[0061] 图 8 描绘了干燥插入元件的另一实施例。干燥插入元件 84 由三层形成。层 84a 和 84c 是夹置了层 84b 的水可膨胀层,层 84b 是可压缩的,用于提供对该至少一个光波导的耦合力。类似的,干燥插入元件的其他实施例可以包含其他变形例,诸如夹置水可膨胀层的至少两层可压缩层。两层可压缩层可以具有不同的弹簧常数,用于适应(tailoring)施加到该至少一个光波导的法向力。

[0062] 图 9 描绘了本发明另一实施例的具有层 94a 和 94b 的干燥插入元件 94。层 94a 由

具有穿过其的至少一个穿孔 95 的封闭单元的泡沫材料形成,而层 94b 包含至少一种水可膨胀物质;然而,也可以将其他合适的材料用作可压缩层。封闭单元泡沫材料起被动阻水材料的作用,其防止水沿其流动,并且穿孔 95 允许层 94b 的活化的水可膨胀物质朝向光波导径向向内移动。允许活化的水可膨胀物质径向向内移动以有效地对水进行阻挡的任何合适的穿孔 95 的尺寸、形状和 / 或图案是可允许的。可以选择穿孔的尺寸、形状和 / 或图案并围绕该堆叠的角落光波导设置,由此提高角落光波导的性能。例如,穿孔 95 可以提供干燥插入元件的可压缩性的变化,由此适应 (tailoring) 光波导上的法向力,用于保持光学性能。

[0063] 图 10 描绘了干燥插入元件 104,其描绘了本发明的其他概念。干燥插入元件 104 包含层 104a 和 104b。层 104a 由多个非连续的可压缩元件形成,这些可压缩元件设置在层 104b 上,层 104b 是连续的水可膨胀层。在一个实施例中,层 104a 的元件以规则间隔设置,该间隔通常与带堆叠的层长度相关联。此外,该元件具有沿其宽度  $w$  而改变的高度  $h$ 。所述的另一种方式,这些元件被成型为与它们所大体包围的光波导的形状一致。

[0064] 图 13 描绘了使用了管组件 10 的本发明的另一实施例的缆线 130。缆线 130 包含围绕管组件 10 的护套系统 137,用于保护管组件 10 以免受到例如压毁力和周围环境的影响。在这种情况下,护套系统 137 包含通过滚边线 (不可见) 所固定的水可膨胀带子 132,一对开伞索 135,铠装带子 136 以及包壳 138。铠装带子 136 优选辊压形成;然而,可以使用其他合适的制造方法。该对开伞索 135 通常以大约一百八十度分隔设置,并具有距铠装重叠部分大约九十度的间隔,由此防止在使用期间在铠装带子边缘上对开伞索的剪切作用。在优选实施例中,适用于撕裂铠装带子的开伞索具有如于 2003 年 8 月 29 日提交的美国专利申请 No. 10/652,046 中所披露的构造。铠装带子 136 既可以是介电材料,也可以是金属材料。如果使用介电铠装带子,那么缆线也可以包含金属引线,用于在掩埋应用中对缆线进行定位。换句话说,金属引线使缆线可调 (tonable)。外套 138 大致围绕铠装带子 136,并对缆线 130 提供环境保护。当然,可以使用其他合适的护套系统围绕管组件。

[0065] 图 14 描绘了光纤缆线 140。缆线 140 包含至少一个光波导 12 和在护套系统 142 内形成缆线芯 141 的干燥插入元件 14。换句话说,由于通过单独地切开护套系统 142 来实现接近缆线芯 141,因此缆线 140 是无管设计。护套系统 142 还包含嵌入其内的强度元件 142a,并以大约 180 度分离设置,由此对缆线施加优先的弯曲。当然,诸如强度元件 142a 的不同类型、数量和 / 或布置的其他护套系统的构造是可能的。缆线 140 也可以包含设置在缆线芯 141 和护套 142 之间的一个或更多个开伞索 145,用于撕开护套 142,由此允许技工容易接近缆线芯 141。

[0066] 图 15 描绘了具有围绕中心元件 151 绞合的多个管组件 10 的光纤缆线 150。具体地,与多个填料棒 153 一起的管组件 10 围绕中心元件 151 呈 S-Z 绞合,并且用一个或更多个滚边线 (不可见) 固定,由此形成绞合的缆线芯。绞合的缆线芯具有围绕其的水可膨胀带子 156,其在将包壳 158 挤出于其上之前用滚边线 (不可见) 固定。可选择地,可以将芳族聚酰胺纤维、其他合适的强度元件和 / 或诸如水可膨胀纱线的阻水元件围绕中心元件 151 绞合,由此形成绞合缆线芯的一部分。类似的,诸如纱线或带子的水可膨胀元件可以围绕中心元件 151 设置,用于防止水沿缆线 150 的中部流动。缆线 150 的其他变形例可以包括铠装带子、内包壳和 / 或不同数量的管组件。

[0067] 图 16 和 17 描绘了本发明的解释性无管缆线设计。具体地,缆线 160 是具有至少一

个光波导 12 的引入缆线,该光波导 12 在包壳 168 的腔内大体被干燥插入元件 14 所包围。缆线 160 还包含至少一个强度元件 164。其他无管引入缆线的构造也是可能的,诸如圆形或卵形构造。图 17 描绘了具有通过公共包壳 178 连接的吊线钢索 (messenger) 部分 172 和载体部分 174 的无管 8 字形引入缆线 170。吊线钢索部分 172 包含强度元件 173,而载体部分 174 包含具有至少一个光波导 12 的腔,光波导 12 大体被干燥插入元件 14 所包围。载体部分 174 也可以包含至少一个位于其内的防弯折元件 175,用于在将载体部分 174 与吊线钢索部分 172 分离时防止收缩。虽然图 16 和 17 描绘了图 2 的干燥插入元件,但是可以使用任何合适的干燥插入元件。

[0068] 图 18 和 18a 分别描绘了缆线 180 和 180', 其将本发明的概念应用于具有大致扁平形状的无管缆线构造中。缆线 180 包含至少一个光波导 12 和至少部分设置在缆线包壳 188 的腔 188a 内的多个干燥插入元件 184a、184b。如所描绘的,干燥插入元件 184a、184b 的主(例如,平坦的)表面(未用数字标记)与腔 188a 的主(例如,水平的)表面(未用数字标记)大致对齐,由此得到紧凑的并且有效的构造,同时基本上防止了如在圆管的带堆叠中所会发生的角落光纤接触。在本实施例中,光波导 12 是光纤带 182(用水平线表示)的一部分,并且干燥插入元件 184a、184b 以非绞合堆叠的方式夹置多个带 182,由此形成缆线芯 185。因此,缆线 180 具有带 182,干燥插入元件 184a、184b 的主表面和腔 188a 的主表面大体对齐或大体平行。此外,干燥插入元件 184a、184b 与顶部或底部带 182 的至少一部分接触。缆线 180 进一步包含至少一个强度元件 189,用于提供抗拉强度,并且在本实施例中包含设置在腔 188a 的相对侧上的两个强度元件 189。强度元件 189 可以由任何合适的材料形成,诸如介电材料、导体、合成物或类似物。缆线 180 有利的是如于 2005 年 7 月 29 日提交的美国专利申请序列号 No. 11/193, 516 中所披露的分布缆线。缆线 180' 类似于缆线 180,但是具有设置在干燥插入元件 184a、184b 之间的六根疏松光纤 12(而不是带)。同样,光纤 12 与干燥插入元件 184a、184b 之一的至少一部分接触。当然,缆线 180、180' 和其他类似的缆线可以具有除了诸如远程、校园、接入、室内或其他应用的分布缆线之外的应用。

[0069] 带 182 包含二十四根光纤,并且是由至少部分设置在缆线包壳 188 的腔 188a(图 18b) 内的多个带 182 形成的带堆叠(未用数字标记)的一部分。堆叠的带可以使用利用如现有技术中所知道的子单元和/或应力集中的易分裂的构造,由此允许将带分为更小的光纤组。当然,带可以使用任何合适数量的光纤和/或不同的带可以具有不同数量的光纤。将第一干燥插入元件 184a 和第二干燥插入元件 184b 设置在腔内,并且大致设置在带堆叠(或如在缆线 180' 中的光纤)的相对侧上。如在缆线 180 中所描绘的,干燥插入元件 184a、184b 与腔 188a 的主表面(即,水平侧)在顶部和底部大致对齐,并且同样与带的宽度(即,主表面)大致对齐,由此在腔 188a 内形成光学带/干燥插入元件合成堆。因此,使矩形(或方形)带堆叠与相应的大致矩形(或方形)腔相一致,并且避免了与在圆形缓冲管内设置矩形(或方形)带堆叠有关的问题(即,诸如在弯曲期间产生的在圆形缓冲管内的带堆叠的角落光纤上的应力,该应力可能使缆线不能满足光学性能要求)。干燥插入元件 184a、184b 起耦合、缓冲的作用,并且允许带(或光纤)的运动和分离,以适应缆线 180 的弯曲。另外,一个或更多个干燥插入元件可以可选择地实现阻水。

[0070] 类似于缆线 180 的光纤缆线有利的是作为分布缆线,因为它们能以相对小的截面占地面积具有相对高的光波导数量。作为实例,缆线 180 的一个解释性实施例具有四个带,

并且每个带具有二十四根光纤,则总光纤数为九十六根光纤。此外,这一解释性实施例的四个带具有大约 0.5% 或更大的过剩带长度 (ERL), 诸如在大约 0.6% 至大约 0.8% 的范围内。对于二十四根光纤的带, 缆线 180 具有大约 15 毫米或更小的主缆线尺寸 W 和大约 8 毫米或更小的次缆线尺寸 H。另外, 本解释性实施例的强度元件 189 由玻璃加强塑料 (GRP) 形成, 并且具有大约 2.3 毫米的尺寸 D, 这小于腔 188a 的高度。本解释性实施例的最小弯曲半径为大约 125 毫米, 这允许缆线以相对小的直径卷绕用于松弛存储。当然, 根据本发明的概念, 其他合适的光纤 / 带数量、元件、ERL 和 / 或缆线尺寸是可能的。示意性地, 类似于缆线 180 的缆线可以具有不同光纤数量的四个带, 诸如 (1) 具有大约 12 毫米或更小的主缆线尺寸 W 的十二根光纤的带, 共有四十八根光纤; (2) 具有大约 18 毫米或更小的主缆线尺寸 W 的三十六根光纤的带, 共有一百四十四根光纤; 或者 (3) 具有大约 21 毫米或更小的主缆线尺寸 W 的四十八根光纤的带, 共有二百一十六根光纤。

[0071] 图 18b 示意性地描绘了缆线 180 的腔 188a。腔 188a 具有腔高度 CH 和腔宽度 CW。作为用于上面讨论的解释性实施例的实例, 对于大约 1.2 毫米 (0.3 毫米的 4 倍) 的光纤 (带) 高度 FH, 每条带 182 具有大约 0.3 毫米的高度, 并且腔 188a 具有大约 5.5 毫米的腔高度 CH。腔宽度 CW 大体由用于缆线的带的宽度 (或光纤的数量) 决定, 并且对于二十四根光纤的带而言为大约 7.5 毫米。干燥插入元件 184a、184b 在带堆叠的顶部和底部占据腔。在一个实施例中, 干燥插入元件 184a、184b 具有大约 1.8 毫米的未压缩高度 h, 但是干燥插入元件的其他合适的未压缩高度 h 是可能的。如在图 3 中的柱 39 所描绘的, 具有 5.5 毫米的腔高度 CH、大约 1.2 毫米的光纤高度 FH 和两个 1.8 毫米的干燥插入元件的本解释性实施例具有大约 1.5N/m 的归一化的带的拉拔力, 但是, 其他合适的归一化的带的拉拔力是可能的。干燥插入元件 184a、184b 的压缩是干燥插入元件的局部化的最大压缩, 并且如果如图 19a 所示意性描绘的, 缆线包含正的 ERL, 在这种最大压缩通常发生在带或带堆叠距中性轴具有最大位移的地方。

[0072] 示意性地, 解释性实施例具有大约 4.8 毫米的未压缩干燥插入元件和光纤 (即, 带) 高度 FH 的总高度, 其小于 5.5 毫米的腔高度。因此, 归一化的带的拉拔力通常由波浪状的带堆叠产生, 该波浪状的带堆叠由于 ERL 和 / 或摩擦力而造成局部化的最大压缩。作为实例, 当诸如通过将两个 1 毫米的干燥插入元件与具有大约 5 毫米的腔高度 CH 的腔一起使用, 使干燥插入元件的组的未压缩高度为腔高度 CH 的大约 40% 或更大时, 可以实现带堆叠 (或带或光纤) 的适当耦合。当然, 只要保持了光学性能, 其他合适的比率是可能的。在解释性的实施例中, 干燥插入元件的组的未压缩高度 (1.8 毫米的两倍等于 3.6 毫米) 为腔高度 CH (5.5 毫米) 的大约 65%, 这大于腔高度 CH 的 50%。当然, 在仍然提供合适的性能的同时, 腔、带和 / 或干燥插入元件可以具有其他合适的尺寸。例如, 可以使用更薄的带和 / 或干燥插入元件。尽管将腔 118a 描绘为矩形, 但是, 制造如所示的矩形腔是困难的, 即, 挤出工序可能使腔具有稍微不规则的矩形形状。类似的, 除了大致矩形之外, 腔可以具有其他合适的形状, 诸如卵形、圆形或类似形状, 这通常可以改变干燥插入元件、带和 / 或腔之间的关系 (对齐)。

[0073] 干燥插入元件 184a、184b 可以为任何合适的材料, 诸如, 例如泡沫材料带子的可压缩层, 用于缓冲, 耦合, 允许带 (或光纤) 在腔 188a 内的移动以及适应带 (或光纤) 在腔 188a 内的弯曲, 或者其他合适的材料。如所描绘的, 干燥插入元件 184a、184b 也可以可选择

地包含水可膨胀层,用于阻挡水沿腔 188a 的流动。作为实例,干燥插入元件可以包含被层叠到可压缩层上的水可膨胀带子,该被压缩层诸如为开放单元的聚氨酯泡沫材料带子,但是,当然,对于干燥插入元件,其他合适的材料和构造是可能的。类似的,本发明的缆线可以具有干燥插入元件和分离的阻水元件,诸如设置在腔内的水可膨胀纱线或丝线。换句话说,干燥插入元件和阻水元件可以是分离的元件。如所描绘的,干燥插入元件 184a、184b 的水可膨胀层大体面对腔(即,与光纤或带分离),但是,在另一种缆线变形中,水可膨胀层可以面对光纤或带。在进一步的缆线变形例中,水可膨胀带子与类似于缆线 180 中的腔内的夹层结构中的带对齐;然而,这种缆线变形例不能提供合适的带的耦合。

[0074] 一般而言,将干燥插入元件定位在带堆叠(或单个带或疏松光纤)的相对端上有助于在不同的条件期间影响并保持沿缆线大体均匀的 ERL 分布,由此帮助保持光学性能。图 19 和 19a 是分别示出类似于缆线 180 的两种不同缆线 192、192a 的带堆叠的示意性表示,其以直线构造布置(即,不是在弯曲条件下)。缆线 192、192a 的中性轴用虚线表示。更具体地,图 19 表示具有零 ERL 的带堆叠 194 的缆线 192,而图 19a 表示具有正的 ERL 的带堆叠 194a 的缆线 192a。如所示,带堆叠 194(没有 ERL)在缆线 192 内沿中性轴 NA 大体为直的,而带堆叠 194a(正的 ERL)具有绕中性轴 NA 大体波浪状的轮廓以容纳 ERL。当缆线 192、192a 被弯曲时,带在缆线内改变位置以适应由于弯曲而引起的在腔内长度的改变(即,腔的上表面变长,而腔的下表面变短)。

[0075] 图 19b 和 19c 是分别示出在弯曲期间的缆线 192、192a 的示意性图示,并且为了清楚起见两个中间带被移除。如图 19b 所示,在弯曲期间,带堆叠 194(没有 ERL)的顶部带 RT 大致移动到缆线的中性轴 NA 附近的低应力状态。因此,顶部带 RT 向下推到带堆叠 194 的其他带上,由此在该堆的底部带上(与其他带一起)产生剧烈的弯曲,这可能造成相对高水平的光学衰减,甚至是黑暗的光纤。如所示,顶部带 RT 迫使带堆叠 194(没有 ERL)的底部带 BR 形成尖锐的弯曲(见箭头),该尖锐的弯曲造成相对高的衰减的。另一方面,图 19c 示出了带堆叠 194a(正的 ERL)允许顶部带基本上保持在缆线 192a 的中性轴 NA 上方,由此允许底部带 BR 具有更渐变的弯曲(即,该弯曲基本上是正弦形的),由此保持底部带 RB 的光学性能。另外,带与缆线的耦合对于诸如在弯曲期间沿缆线上相对均匀的 ERL 分布的影响是有利的,这通常允许小的缆线弯曲半径。诸如腔的尺寸和/或干燥插入元件的压缩的其他因素也可能对沿缆线的 ERL/EFL 分布产生影响。

[0076] 具有非绞合的带堆叠的基本上扁平的轮廓的缆线的另一光学性能方面是满足合适的光学性能所需要的 ERL 的总量。对于合适的缆线性质的 ERL 的量基本上依赖于缆线设计,诸如带的数量。一般而言,具有单个带的缆线的最小 ERL 由在额定缆线负载下所需要的可允许水平的光纤应变所决定;然而,多带缆线的最小 ERL 通常受到弯曲性能的影响。更具体地,当对于缆线设计选择最小 ERL 极限时,应当将强度元件的几何形状和材料(即,截面积和杨氏模量)考虑用于计算在缆线设计的额定张力负载下所需要的光纤应变水平。此外,弯曲所需要的 ERL 量通常随着堆中的带的数量的增加而增加,因为带堆叠的较外侧带距缆线的中性轴更远。然而,对于合适的光学性能,在 ERL 的上端存在限制(即,过大的 ERL 会使光学性能劣化)。ERL 的接近最理想的上水平值可以利用腔高度 CH、带厚度  $t_r$  和所需的最小弯曲半径 R 来计算。公式 1 是用于使腔的上表面的弯曲与带内的弯曲匹配以确定接近于最理想的 ERL 水平的公式。然而,缆线能够大于由该公式所给定的 ERL 的上水平值,



并且仍然具有合适的缆线性能。

$$[0077] \quad ERL \text{ 上水平值} = 50 \left( \frac{h-t_r}{R} \right) \quad \text{公式 (1)}$$

[0078] 作为公式 1 的实例,具有大约 4 毫米的腔高度 CH、大约 0.3 毫米的带厚度以及大约 150 毫米的所需要的最小弯曲半径的缆线具有大约 1.2% 的接近最优的 ERL 上水平。另外,具有相对高水平的 ERL,诸如在 0.6% 至 1.5% 范围内,的缆线对于诸如 NESC 重负载的自支撑安装是合适的,但是,对于给定设计的特定 ERL 应当具有所需要的缆线性能。另一方面,诸如缆线 180' 的具有疏松光纤 12 的缆线可以具有更低值的过剩光纤长度 (EFL),诸如大约 0.2% 的 EFL,因为所有的光纤都位于缆线的中性轴附近。

[0079] 尽管缆线 180 的干燥插入元件 184a、184b 同时设置在带堆叠的上部和下部,但是,一个或更多个干燥插入元件围绕光纤缠绕或者如图 20 所示设置在其一侧或更多侧上。具体地,图 20 示出了围绕带堆叠设置的四个独立的干燥插入元件 204a、204b、204c 和 204d。在另一实施例中,可以将两个干燥插入元件设置在带堆叠的侧面(即,干燥插入元件 204c、204d 的位置),而不是带堆叠的顶部和底部。在又一实施例中,本发明的缆线可以包含单个干燥插入元件,诸如在带堆叠的一侧上,或者在带堆叠的中间(即,干燥插入元件两侧上的带)。

[0080] 图 21 描绘了类似于缆线 180 的缆线 210,但是其进一步包含至少一个铠装层 211,并且在本实施例中,是两个铠装层 211。铠装层 211 分别设置在腔的上方和下方,用于防止诸如由齧齿动物或点压碎接触引起的不想要的裂口。铠装层 211 可以由任何合适的材料形成,例如,诸如钢的导电材料,或者诸如聚酰胺、聚碳酸酯的介电材料,或者由玻璃纤维、芳族聚酰胺或类似物形成的编织织物。图 22 描绘了另一缆线 220,其包含至少一个铠装层 221。缆线 220 类似于缆线 180,但是具有围绕缆线包壳 228 缠绕的铠装层 221,并且进一步外包有第二包壳 228a,由此覆盖铠装层 221。

[0081] 图 23 描绘了类似于缆线 180 的缆线 230,但是其进一步包含用于保护光纤的管子 231。管子 231 可以由任何合适的材料形成,并且进一步保护缆线的光纤。管子 231 可以在分开的挤出步骤中形成,或者与缆线包壳 238 一起共同挤出。管子 231 与缆线包壳一起可以由任何合适的材料形成,诸如聚合物。作为实例,一个实施例具有由 HDPE 形成的管子,并且缆线包壳由 MDPE 形成,但是可以使用任何合适的材料组合。类似的,可以使用阻燃剂材料,由此使缆线适合于室内应用。此外,缆线 230 还包含用于在掩埋应用中对缆线定位的调节引线 (toning wire) 233 的调节凸角 (toning lobe) 238a。调节凸角 238a 通过连接板 (web) (未用数字标记) 连接到缆线包壳 238,由此允许调节凸角 238a 与缆线主体分离。此外,通过使用一个或更多个导电的缆线元件,没有调节凸角的缆线可以具有可调节 (tonable) 的能力。另外,如果一个或更多个缆线元件是导电的,诸如包含一对扭绞的铜线或者利用导电强度元件,那么缆线可以传导电能。

[0082] 图 24 和 25 分别描绘了类似于缆线 180 的缆线 240 和 250,但是其具有不同的横截面缆线形状。缆线 240 描绘了缆线包壳 248 的八字试块状缆线截面,并且缆线 250 描绘了缆线截面的另一变形例。缆线 250 具有凹陷部分 258a,使得技工能够沿缆线的一部分分离一个或更多个强度元件 259。当然,对于本发明的概念,其他截面形状是可能的。

[0083] 图 26 示意性地描绘了本发明的用于缆线 180 的示范性生产线 260;然而,可

以使用该概念的其他变形例来制造根据本发明的概念的其他组件和 / 或缆线。生产线 260 包含至少一个光学带放线盘 261, 多个干燥插入元件放线盘 262, 多个强度元件放线盘 263, 多个强度元件绞盘 264, 十字头挤出机 265, 水槽 266, 一个或更多个供应拉出器 (caterpuller) 267 以及收线盘 269。此外, 缆线 180 还可以包含铠装层和围绕其上的第二缆线包壳, 由此形成类似于图 22 所示的缆线 220。铠装层和 / 或第二缆线铠装可以在与缆线 180 相同的生产线上制造, 或者在第二条生产线上制造。示范性生产过程包括从各个放线盘 261、262 和 262 防线至少一个光纤带 182 和干燥插入元件 184a、184b。为了清楚起见, 仅示出光纤带 182 的一个放线盘。然而, 为了生产本发明的组件和 / 或缆线, 生产线可以包含用于一个或更多个光纤带或光纤的任何合适数量的放线盘。然后, 将干燥插入元件 184a、184b 大致围绕光纤带 182 定位, 由此形成缆线芯 185 (即, 干燥插入元件带组合堆或夹层结构)。此外, 利用各个强度元件绞盘 264 在相对高张力 (例如, 大约 100 至大约 400 磅之间) 下将强度元件 189 从各个放线盘 263 放线, 由此弹性地拉伸强度元件 189 (用箭头表示), 以便在缆线中产生 ERL。换句话说, 因为带被引入到具有与拉紧的强度元件大致相同长度的缆线内, 并且带未被拉伸, 所以在强度元件 189 上释放张力之后, 它们回到其初始未拉伸长度 (即, 缩短), 由此产生 ERL。所述的另一方式, 所产生的 ERL 的量大致等于强度元件的应变加上可能发生的缆线包壳的任何塑料收缩。此后, 将缆线芯 185 和强度元件 189 送入十字头挤出机 265, 在那里围绕缆线芯 185 和强度元件 189 挤出缆线包壳 188, 由此形成缆线 180。然后使缆线 180 在水槽 266 内淬火。利用一个或更多个供应拉出器 267 将缆线 180 拉拽穿过生产线, 然后在低张力下缠绕到收线盘 269 上。如在方框中所描绘的, 如果建立一条生产线来制造类似于缆线 220 的缆线, 那么当铠装层 221 从放线盘 270 放线并且利用合适的铠装形成设备 (未示出) 围绕缆线 180 形成时, 将第二供应拉出器 267 用于拉拽缆线组件, 并且利用十字头挤出机 272 在其上挤出第二包壳 188a。此后, 在缠绕到收线盘 269 上之前, 使具有铠装的缆线 180' 穿过第二水槽 274。此外, 根据本发明的概念的其他缆线和 / 或生产线是可能的。例如, 缆线和 / 或生产线可以包含水可膨胀带子、纱线或类似物; 但是, 一种或更多种其他合适缆线元件的使用是可能的。

[0084] 在附带的权利要求的范围内, 本发明的许多改进和其他实施例对本领域技术人员而言将变得清楚。例如, 光波导可以在各种带堆叠或构造内形成, 诸如带堆叠的台阶状轮廓 (即, 带堆叠的横截面是加号形状)。除了 S-Z 型绞合构造之外, 本发明的缆线也可以包含螺旋绞合的多于一个光学管组件。此外, 本发明的干燥插入元件可以如所示的层叠在一起或者作为单个元件使用。因此, 应当理解, 本发明并不局限于此处所披露的具体实施例, 并且在附带的权利要求的范围内可以进行改进并产生其他实施例。尽管在此处使用了特定术语, 但是, 仅将其用于一般的和描述性的意义, 并且不是为了限定的目的。已经参考基于二氧化硅的光波导描述了本发明, 但是本发明的发明概念可应用于其他合适的光波导和 / 或缆线构造。

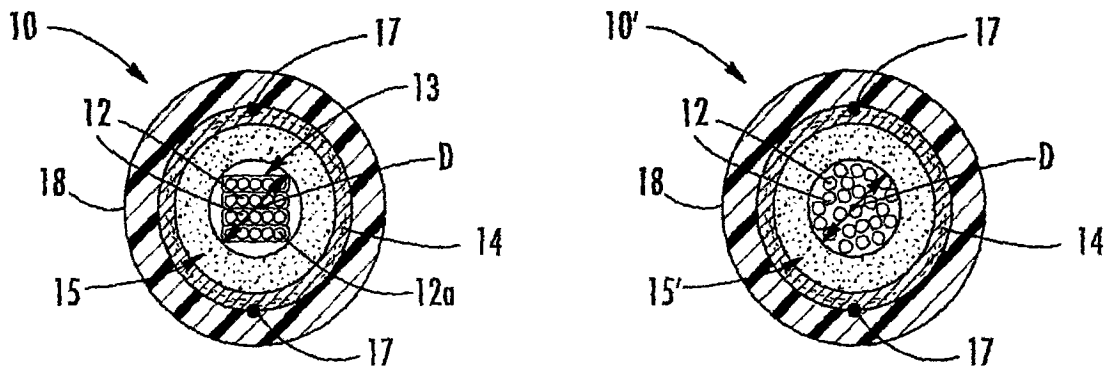


图 1

图 1a

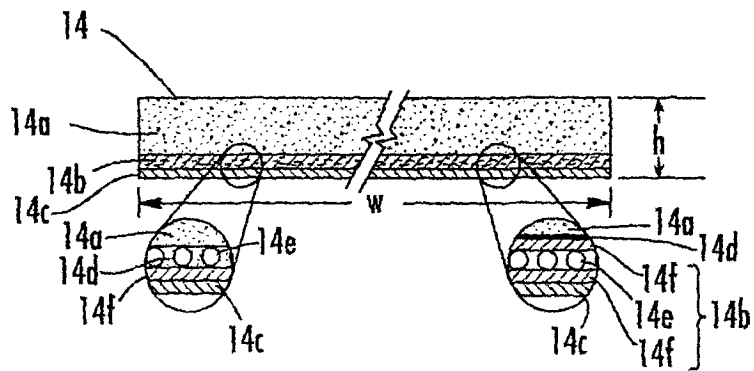


图 2

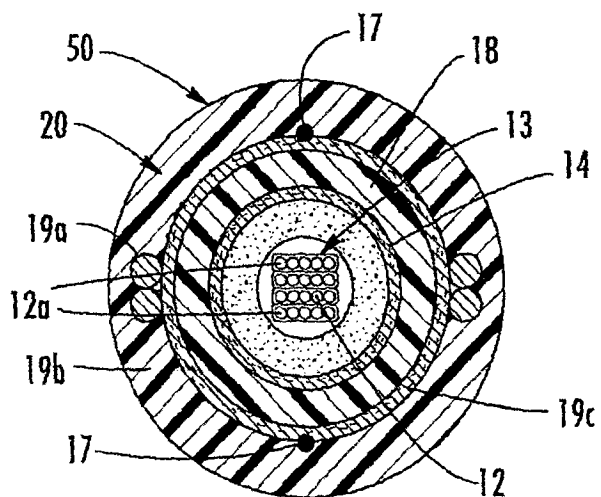


图 5

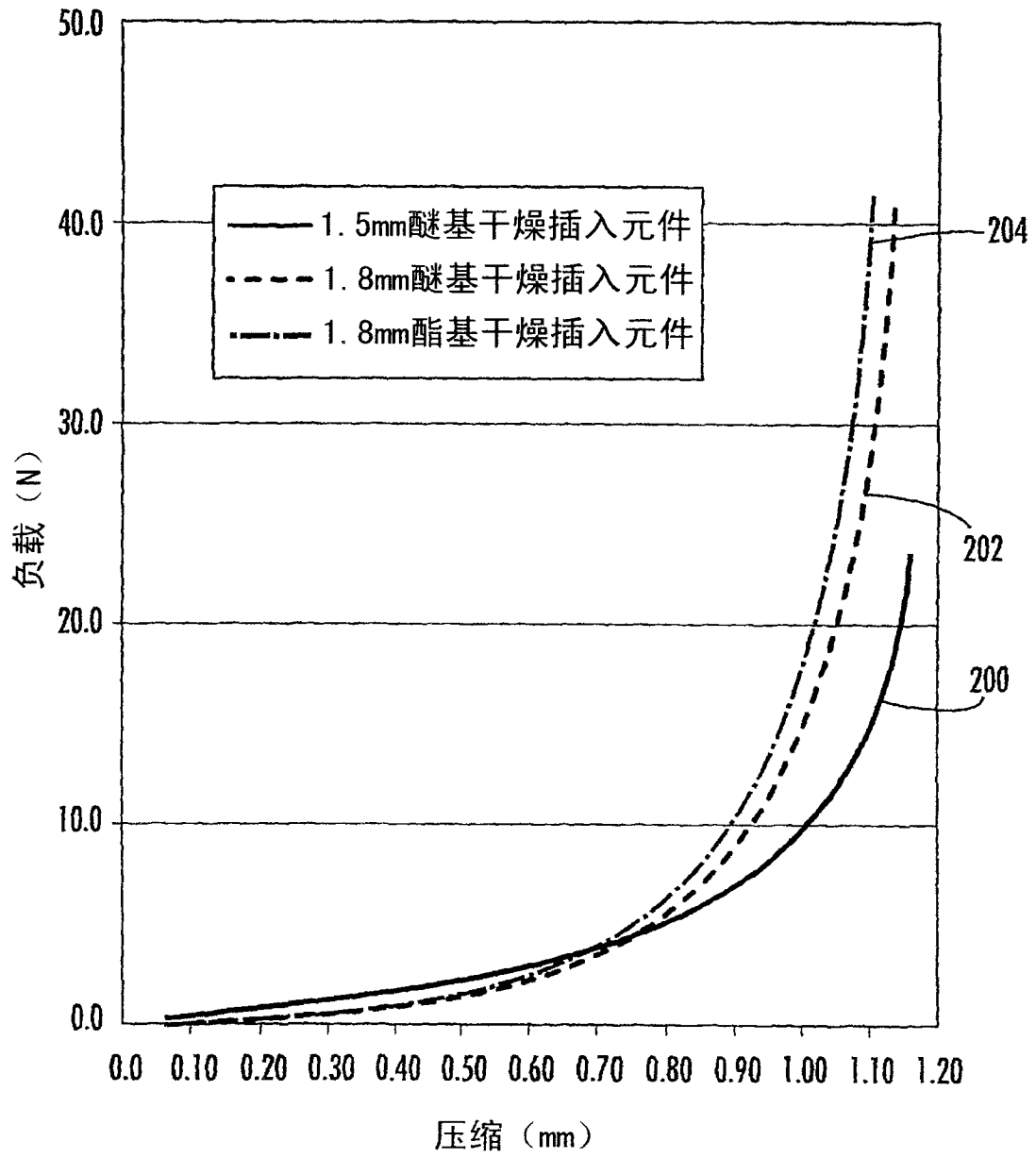


图 2a

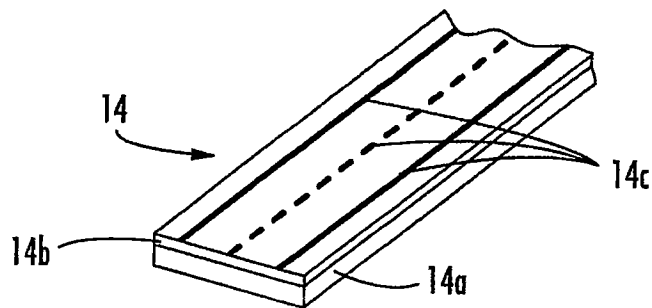


图 2b

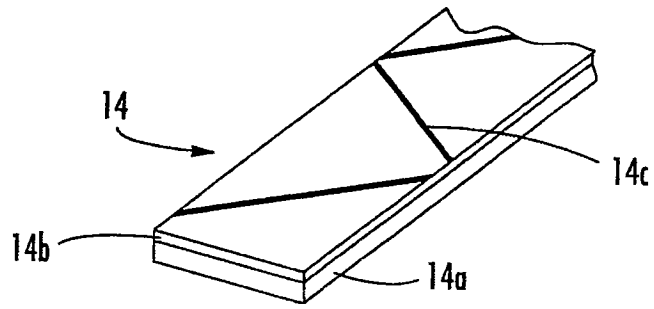


图 2c

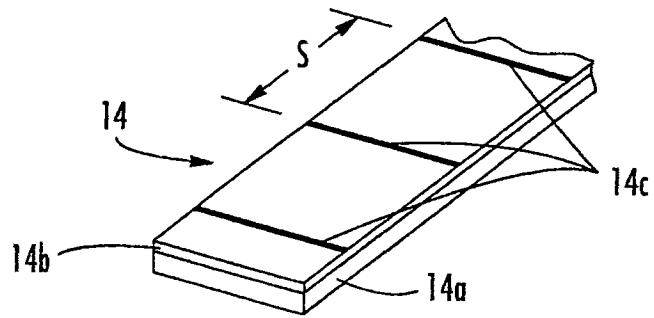


图 2d

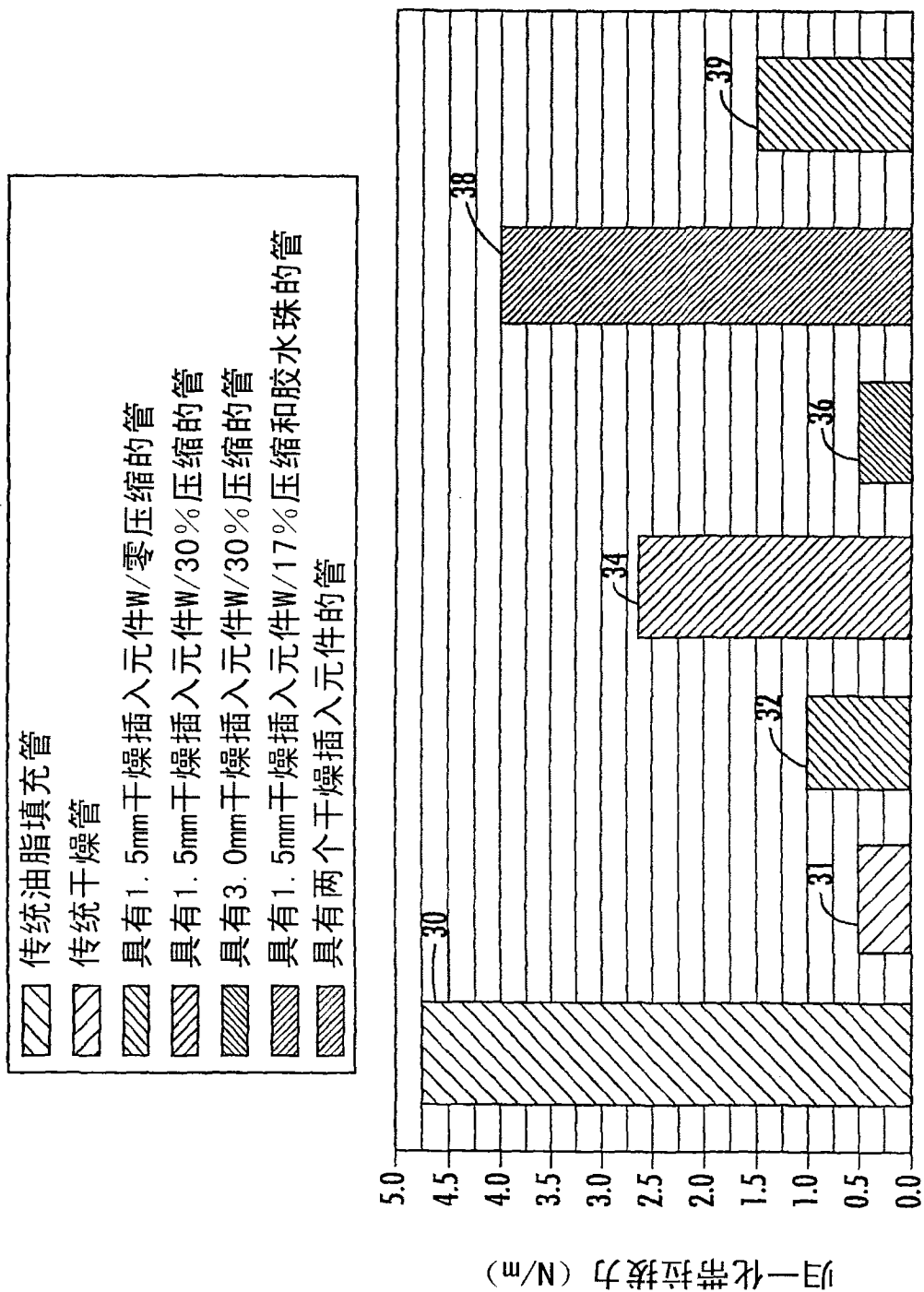


图 3

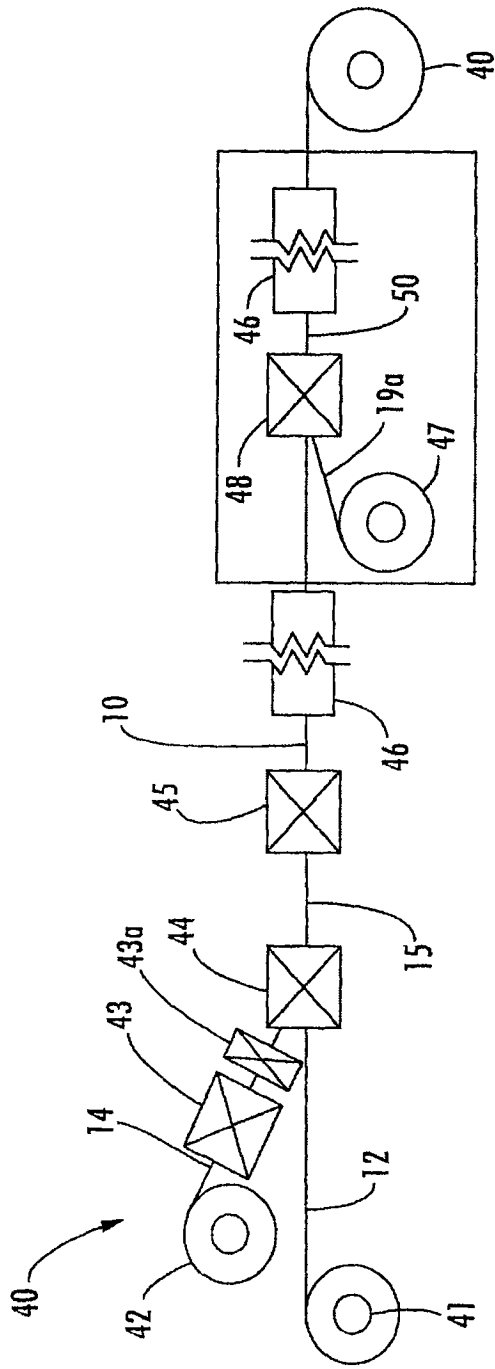


图 4

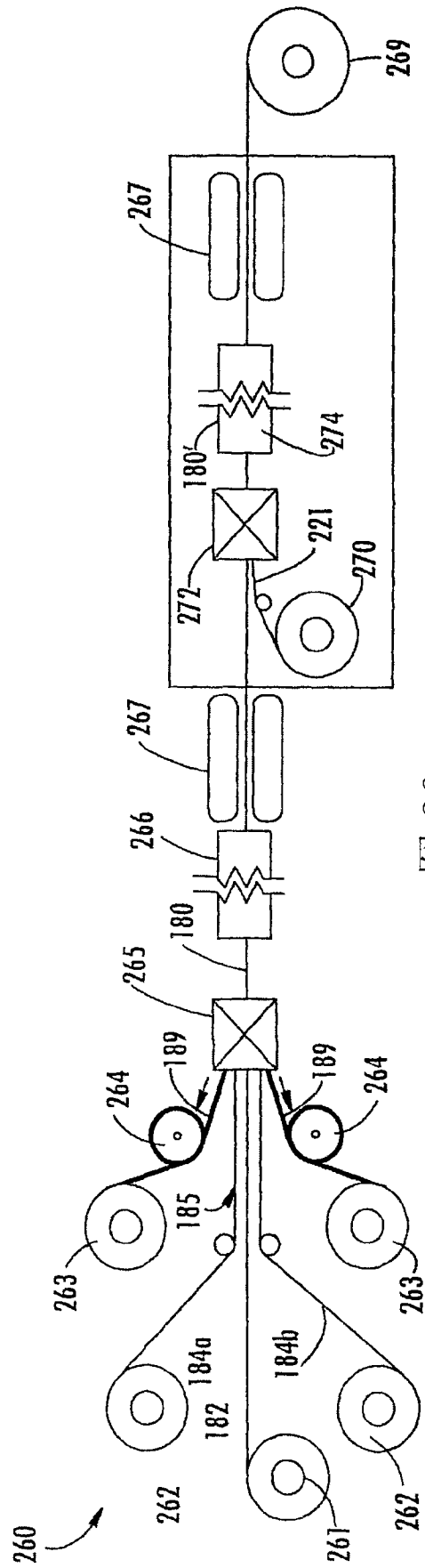


图 26

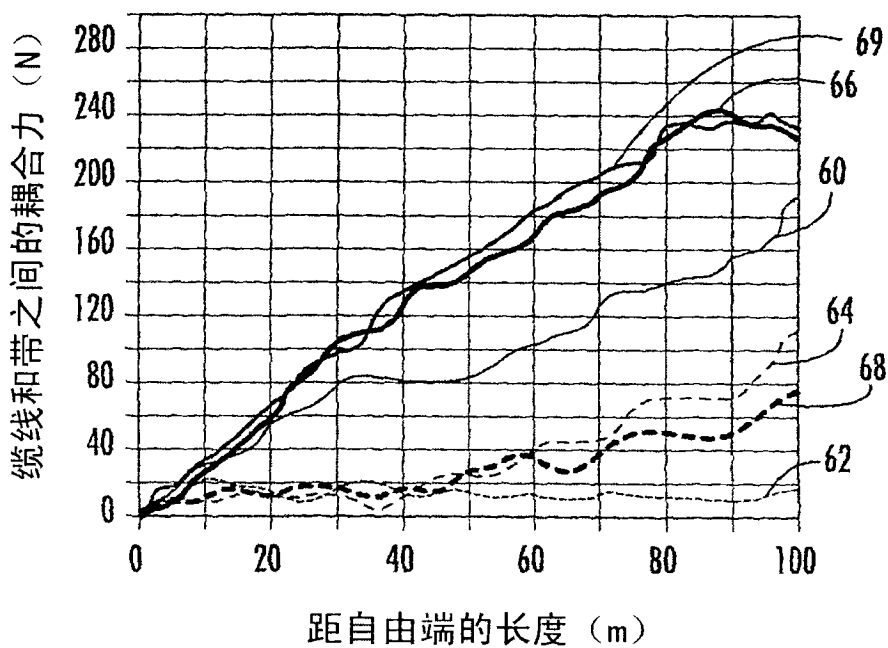
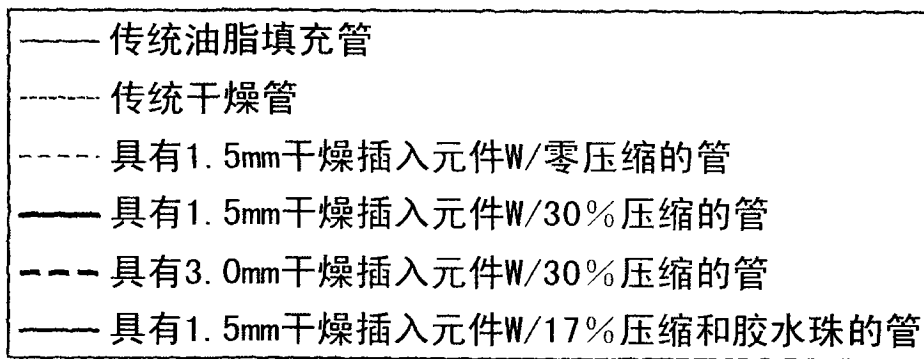


图 6

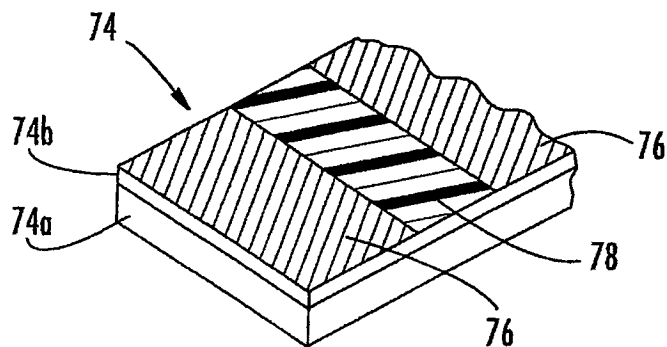


图 7



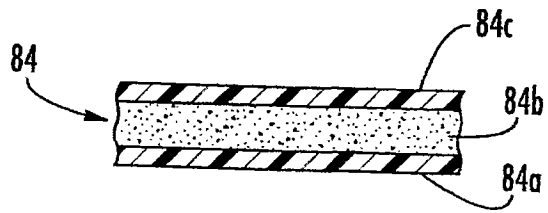


图 8

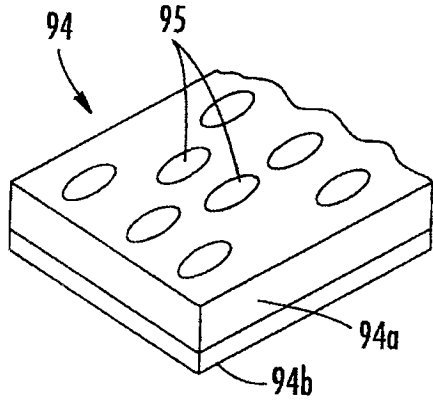


图 9

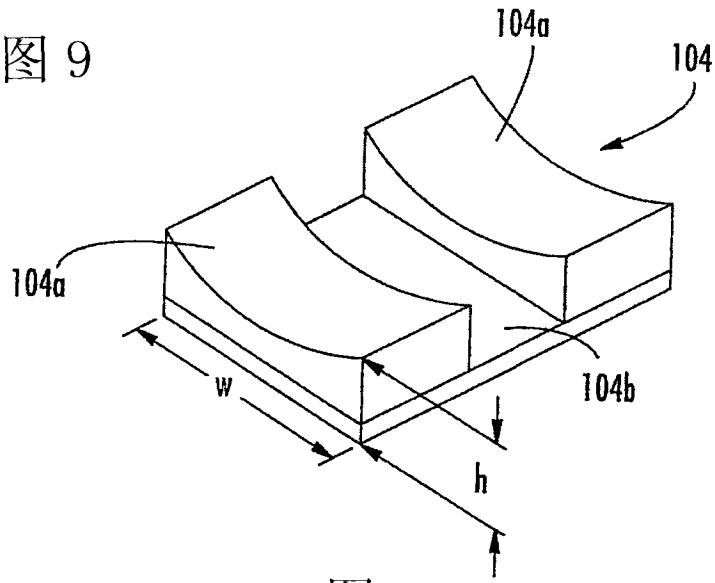


图 10

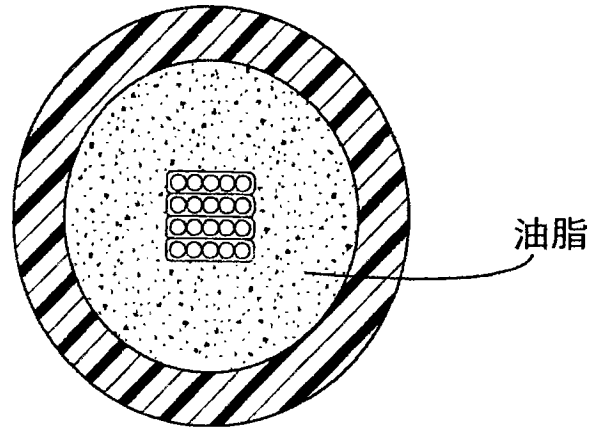


图 11 (现有技术)

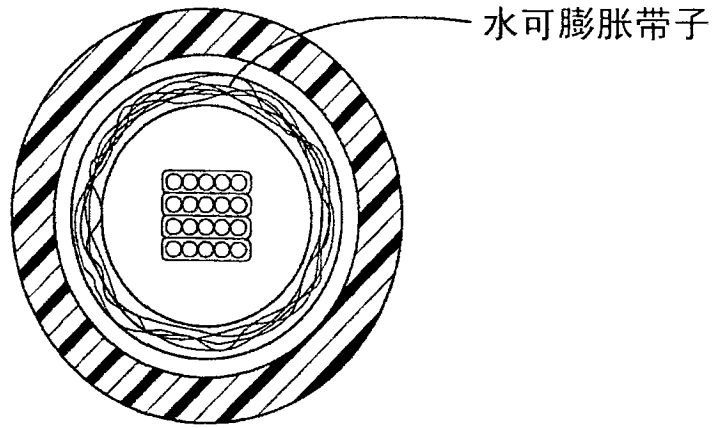


图 12 (现有技术)

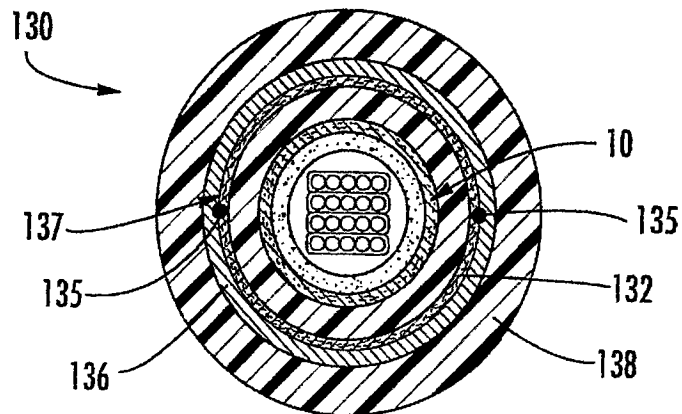


图 13

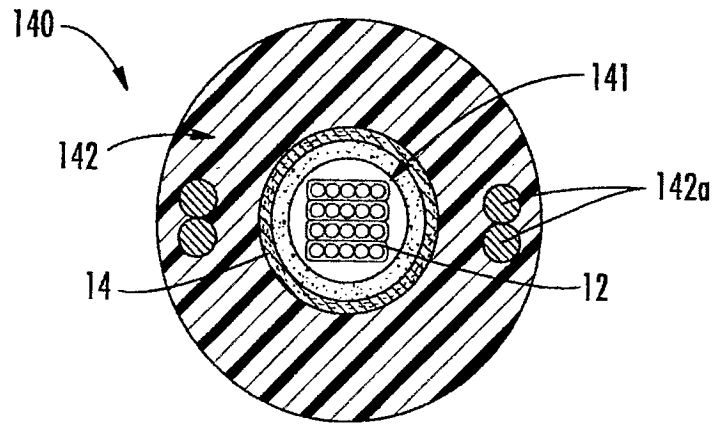


图 14

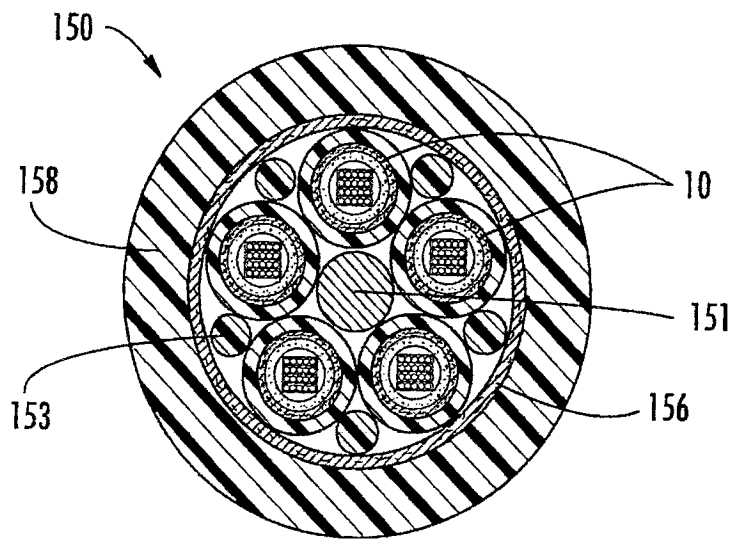


图 15

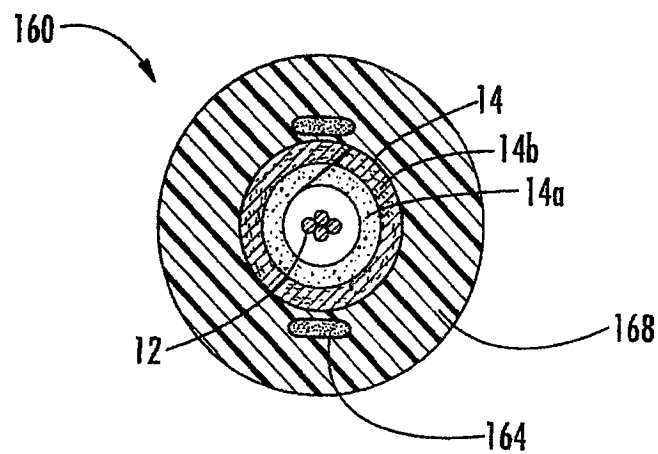


图 16

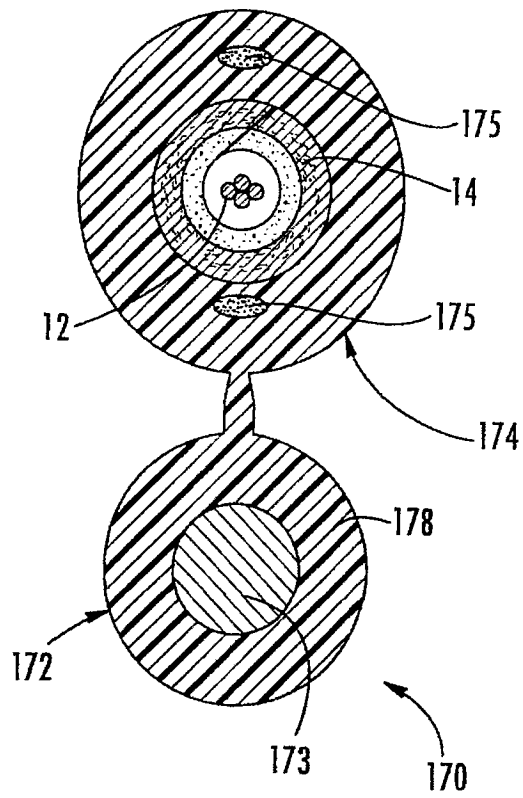


图 17

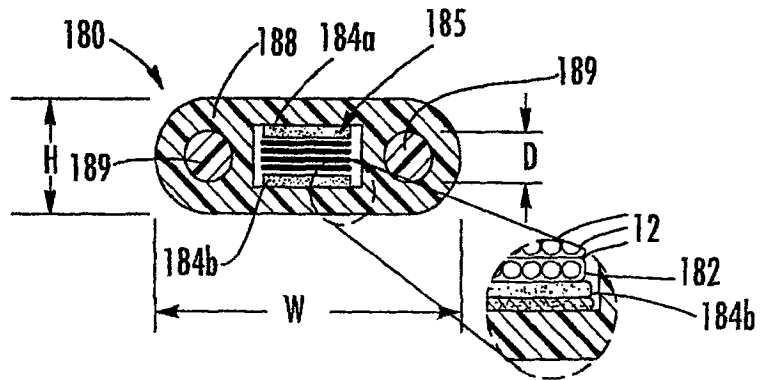


图 18

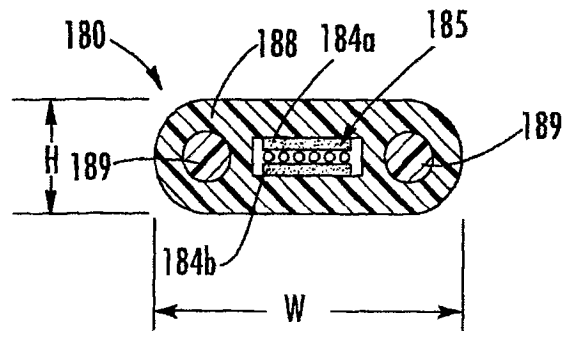


图 18a

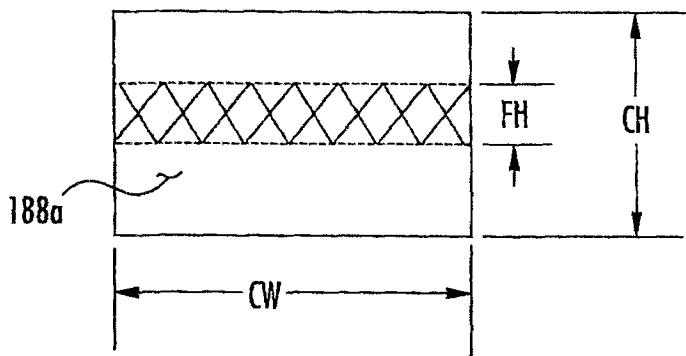


图 18b

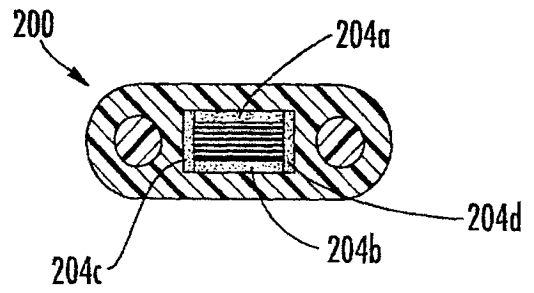


图 20

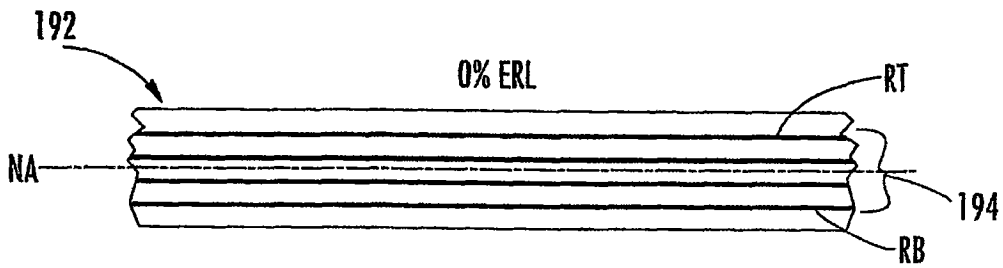


图 19

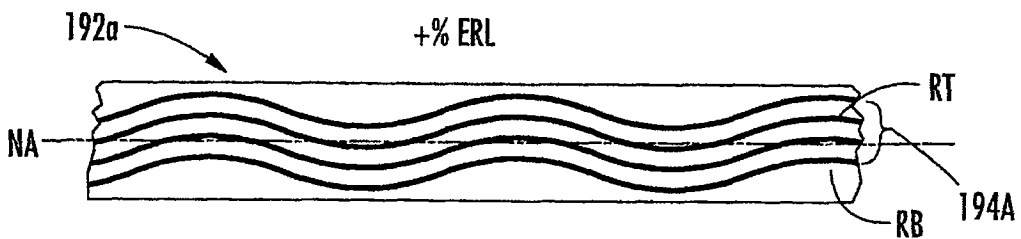


图 19a

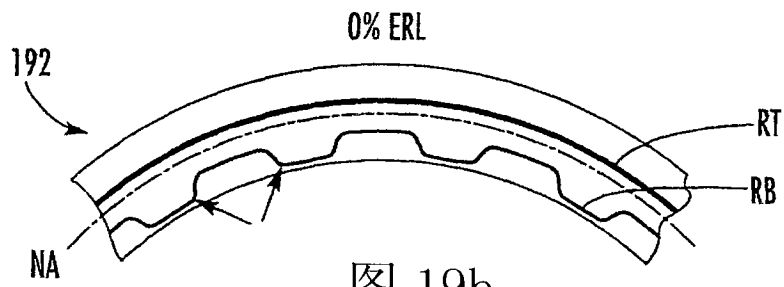


图 19b

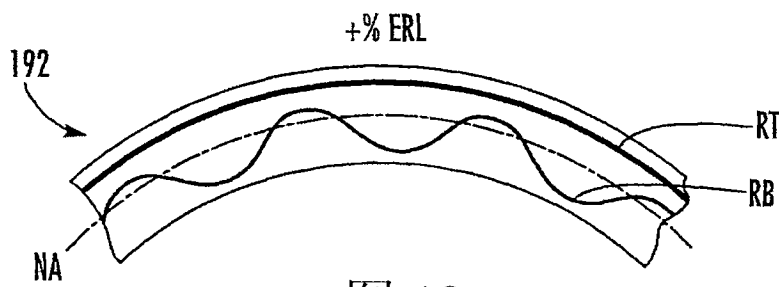


图 19c

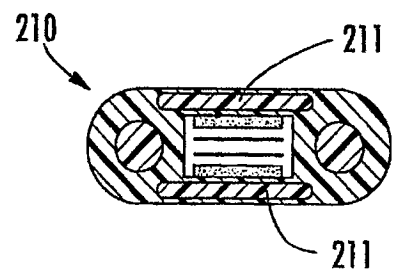


图 21

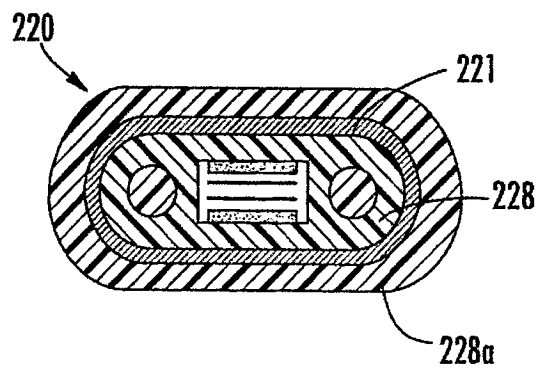


图 22

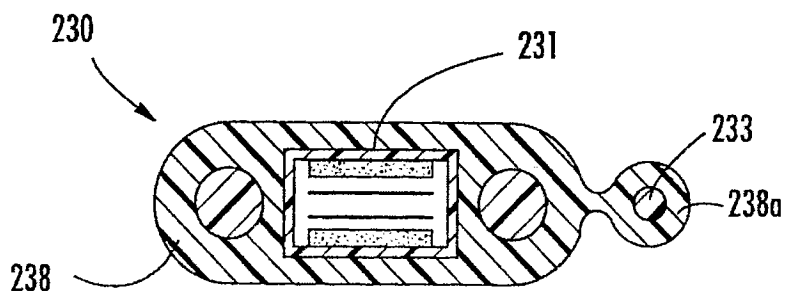


图 23

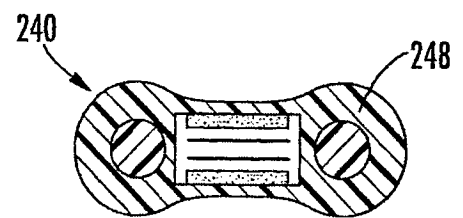


图 24

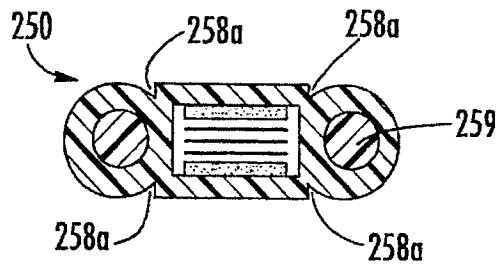


图 25