



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101854020 A

(43) 申请公布日 2010.10.06

(21) 申请号 201010155081.4

(22) 申请日 2010.03.31

(30) 优先权数据

2009-087355 2009.03.31 JP

2009-087360 2009.03.31 JP

(71) 申请人 古河电气工业株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 新子谷悦宏 宫原利雄 江森芳博

中村正伸

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

11127

代理人 陈坚

(51) Int. Cl.

H01S 3/042(2006.01)

H01S 3/067(2006.01)

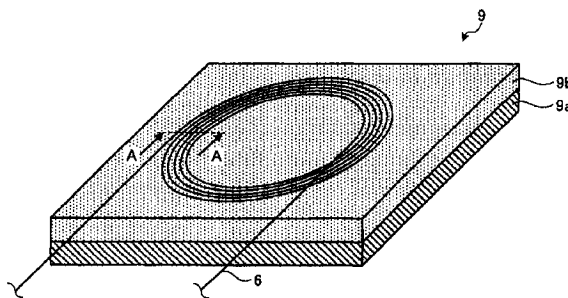
权利要求书 1 页 说明书 13 页 附图 10 页

(54) 发明名称

光纤保持构造

(57) 摘要

本发明提供一种光纤保持构造,具有用于保持处于以彼此不重合的方式卷绕的状态的光纤的表面,至少该表面由热传导率为 0.5W/mK 以上,且 ASKER C 硬度为 20 ~ 50 的热传导性成形体构成。或者具有用于卷绕并保持光纤的外周表面,至少该外周表面由热传导率为 0.5W/mK 以上,且 ASKER C 硬度为 20 ~ 50 的热传导性成形体构成。优选的是,热传导性成形体,压缩强度以峰值计为 10 ~ 30N/cm<sup>2</sup>,以稳定值计为 3 ~ 10N/cm<sup>2</sup>。优选的是,热传导性成形体,热传导率为 1.0W/mK 以上,且 ASKER C 硬度为 25 ~ 40。



1. 一种光纤保持构造,其特征在于,具有用于保持处于以彼此不重合的方式卷绕的状态的光纤的表面,至少该表面由热传导率为  $0.5\text{W/mK}$  以上,且 ASKER C 硬度为  $20 \sim 50$  的热传导性成形体构成。

2. 如权利要求 1 所述的光纤保持构造,其特征在于,所述热传导性成形体,压缩强度以峰值计为  $10 \sim 30\text{N/cm}^2$ ,以稳定值计为  $3 \sim 10\text{N/cm}^2$ 。

3. 如权利要求 1 所述的光纤保持构造,其特征在于,所述热传导性成形体,热传导率为  $1.0\text{W/mK}$  以上,且 ASKER C 硬度为  $25 \sim 40$ 。

4. 如权利要求 1 所述的光纤保持构造,其特征在于,所述热传导性成形体,热传导率为  $1.5\text{W/mK}$  以上,ASKER C 硬度为  $25 \sim 35$ ,压缩强度以峰值计为  $15 \sim 25\text{N/cm}^2$ 。

5. 如权利要求 1 所述的光纤保持构造,其特征在于,所述热传导性成形体堆积多个热传导性片而形成,以夹在该热传导性片的对向的表面之间的方式保持所述光纤。

6. 如权利要求 1 所述的光纤保持构造,其特征在于,还具备配设于该保持构造的内部或外表面的冷却装置。

7. 一种光纤保持构造,其特征在于,具有用于卷绕并保持光纤的外周表面,至少该外周表面由热传导率为  $0.5\text{W/mK}$  以上,且 ASKER C 硬度为  $20 \sim 50$  的热传导性成形体构成。

8. 如权利要求 7 所述的光纤保持构造,其特征在于,所述热传导性成形体,压缩强度以峰值计为  $10 \sim 30\text{N/cm}^2$ ,以稳定值计为  $3 \sim 10\text{N/cm}^2$ 。

9. 如权利要求 7 所述的光纤保持构造,其特征在于,所述热传导性成形体,热传导率为  $1.0\text{W/mK}$  以上,且 ASKER C 硬度为  $25 \sim 40$ 。

10. 如权利要求 7 所述的光纤保持构造,其特征在于,所述热传导性成形体,热传导率为  $1.5\text{W/mK}$  以上,ASKER C 硬度为  $25 \sim 35$ ,压缩强度以峰值计为  $15 \sim 25\text{N/cm}^2$ 。

11. 如权利要求 7 所述的光纤保持构造,其特征在于,具备圆柱形状的基体,且所述热传导性成形体设于所述基体的外周。

12. 如权利要求 7 所述的光纤保持构造,其特征在于,还具备热传导性片,其以覆盖卷绕于所述外周表面的光纤的方式设置,热传导率为  $0.5\text{W/mK}$  以上,且 ASKER C 硬度为  $20 \sim 50$ 。

13. 如权利要求 7 所述的光纤保持构造,其特征在于,由具有圆柱形状的热传导性成形体构成。

14. 一种光纤保持构造,其特征在于,具备用于卷绕并保持光纤的圆柱形状的基体和热传导性片,该热传导性片以覆盖所述卷绕的光纤的方式设置,热传导率为  $0.5\text{W/mK}$  以上,且 ASKER C 硬度为  $20 \sim 50$ 。

15. 如权利要求 7 所述的光纤保持构造,其特征在于,还具备配设于该保持构造的内部或外表面的冷却装置。

## 光纤保持构造

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2009 年 3 月 31 日提交的日本专利申请第 2009-087355 号和 2009 年 3 月 31 日提交的日本专利申请第 2009-087360 号的优先权,它们的全部内容通过引用合并于此。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及光纤保持构造。

### 背景技术

[0004] 目前,已提案一种光纤激光器,其以将镱 (Yb) 和铒 (Er) 等稀土类元素作为光放大物质添加到芯线部的放大光纤为放大介质,具备在该放大光纤的两端连接光纤光栅而形成的法布里-珀罗型光谐振器(例如参照专利文献 1)。

[0005] 该光纤激光器采用双包层型的放大光纤,可利用更高输出的激励光源,实现例如 100W 以上的高输出化。而且,这样的高输出光纤激光器例如作为光通信用的光源被利用。另外,近年来,与光纤中的非线性光学效应高的非线性光纤组合,通过非线性光纤效应进行各种光信号处理的光信号处理装置中,也利用这种高输出的光纤激光器。

[0006] 专利文献 1:(日本)特开 2007-273600 号公报

[0007] 在上述那样的光纤激光器所使用的放大光纤、或非线性光纤中,传输的光的强度极强。其结果是,即使光纤中的光损耗小,随之损失的光能量也增大,因此,光纤容易发热。这样的发热有时成为使光纤的温度依赖性高的光学特性变动、或使光纤及使用其的装置的可靠性降低的原因。

### 发明内容

[0008] 本发明的目的在于至少部分地解决现有技术中的问题。

[0009] 本发明一方面提供一种光纤保持构造,其特征在于,具有用于保持处于以彼此不重合的方式卷绕的状态的光纤的表面,至少该表面由热传导率为 0.5W/mK 以上,且 ASKER C 硬度为 20 ~ 50 的热传导性成形体构成。

[0010] 本发明另一方面提供一种光纤保持构造,其特征在于,具有用于卷绕并保持光纤的外周表面,至少该外周表面由热传导率为 0.5W/mK 以上,且 ASKER C 硬度为 20 ~ 50 的热传导性成形体构成。

[0011] 由此,可以得到散热性高,并且可以以低光损耗保持光纤的光纤保持构造。

[0012] 当结合附图考虑时,通过阅读下面对本发明的目前优选的实施方式的详细说明,可以更好地理解本发明的上述及其它的目的、特征、优点及技术和工业上的重要性。

### 附图说明

[0013] 图 1 是使用实施方式 1 的光纤保持构造的光纤激光器的示意图;

- [0014] 图 2 是图 1 所示的放大光纤的与长度方向垂直的截面的示意剖面图；
- [0015] 图 3 是图 1 所示的保持构造的示意立体图；
- [0016] 图 4 是图 3 所示的保持构造的 A-A 线剖面图；
- [0017] 图 5 是表示实施例 1 ~ 7 的光纤激光器的热传导性成形体的特性及光纤温度 ( $\Delta T$ ) 以及线圈形状稳定性的图；
- [0018] 图 6 是表示比较例 1 ~ 5 的光纤激光器的热传导性成形体的特性及光纤温度 ( $\Delta T$ ) 以及线圈形状稳定性的图；
- [0019] 图 7 是变形例 1 的保持构造的示意透视立体图；
- [0020] 图 8 是变形例 2 的保持构造的示意立体图；
- [0021] 图 9 是图 8 所示的保持构造的 B-B 线剖面图；
- [0022] 图 10 是使用实施方式 2 的光纤保持构造的光纤激光器的示意图；
- [0023] 图 11 是图 10 所示的放大光纤的与长度方向垂直的截面的示意剖面图；
- [0024] 图 12 是图 10 所示的保持构造的外周表面附近的示意剖面图；
- [0025] 图 13 是表示实施例 8 ~ 14 的光纤激光器的热传导性成形体的特性及其线圈形状保持性、光纤温度 ( $\Delta T$ ) 的图；
- [0026] 图 14 是表示比较例 6 ~ 10 的光纤激光器的热传导性成形体的特性及其线圈形状保持性、光纤温度 ( $\Delta T$ ) 的图；
- [0027] 图 15 是变形例 4 的保持构造的外周表面附近的示意剖面图；
- [0028] 图 16 是变形例 5 的保持构造的示意图；
- [0029] 图 17 是变形例 6 的保持构造的示意图。
- [0030] 符号说明
- [0031] 1 激励光源
- [0032]  $1_1 \sim 1_n$  半导体激光器
- [0033]  $2_1 \sim 2_n$  多模光纤
- [0034] 3TFB
- [0035] 4 多模光纤
- [0036] 5、7 光纤光栅
- [0037] 6 放大光纤
- [0038] 6a 芯线部
- [0039] 6b 内侧包层部
- [0040] 6c 外侧包层部
- [0041] 8 输出端子
- [0042] 8a 单模光纤
- [0043] 9、19、29 保持构造
- [0044] 9a、19a 基体
- [0045] 9b 热传导性成形体
- [0046] 19b ~ 19d 配管
- [0047] 29b ~ 29g 热传导性片
- [0048] 51 光栅部

- [0049] 71 光栅部
- [0050] 100 光纤激光器
- [0051] C1 ~ C4 连接点
- [0052] L1 激光
- [0053] 101 激励光源
- [0054]  $101_1 \sim 101_n$  半导体激光器
- [0055]  $102_1 \sim 102_n$  多模光纤
- [0056] 103TFB
- [0057] 104 多模光纤
- [0058] 105、107 光纤光栅
- [0059] 106 放大光纤
- [0060] 106a 芯线部
- [0061] 106b 内侧包层部
- [0062] 106c 外侧包层部
- [0063] 108 输出端子
- [0064] 108a 单模光纤
- [0065] 109、119、129、139 保持构造
- [0066] 109a、129a 基体
- [0067] 109b 热传导性成形体
- [0068] 109c 热传导性片
- [0069] 129b ~ 129d 配管
- [0070] 151 光栅部
- [0071] 171 光栅部
- [0072] 200 光纤激光器
- [0073] C101 ~ C104 连接点
- [0074] L101 激光

### 具体实施方式

[0075] 基于附图对将本发明具体化了的各实施方式进行说明。另外，各实施方式的说明中，对相同的部位标注同一符号，省略重复的说明。

[0076] 下面，参照附图对本发明的光纤保持构造的实施方式进行详细说明。另外，本发明不受该实施方式限定。

[0077] (实施方式 1)

[0078] 图 1 是使用本发明实施方式 1 的光纤保持构造的光纤激光器 100 的示意图。如图 1 所示，该光纤激光器 100 具备：设  $n$  为 1 以上的整数，具备输出波长  $975 \pm 5\text{nm}$  的激励光的多模半导体激光器，即半导体激光器  $1_1 \sim 1_n$  的激励光源 1、多模光纤  $2_1 \sim 2_n$ 、TFB(Tapered Fiber Bundle)3、多模光纤 4、形成有具有折射率周期性变化的构造的光栅部 51 的光纤光栅 5、放大光纤 6、形成有光栅部 71 的光纤光栅 7、具有单模光纤 8a 的光连接器等输出端子 8。另外，该光纤激光器 100 具备放大光纤 6 的保持构造 9。

[0079] 多模光纤  $2_1 \sim 2_n$  以导波半导体激光器  $1_1 \sim 1_n$  输出的激励光的方式连接。另外, TFB3 以将多模光纤  $2_1 \sim 2_n$  导波的各激励光耦合并从多模光纤 4 输出的方式构成。另外, 光纤光栅 5 在连接点 C1 与多模光纤 4 熔接。另外, 放大光纤 6 在连接点 C2 与光纤光栅 5 熔接。另外, 光纤光栅 7 在连接点 C3 与放大光纤 6 熔接。另外, 输出端子 8 的单模光纤 8a 在连接点 C4 与光纤光栅 7 熔接。

[0080] 图 2 是图 1 所示的放大光纤 6 的与长度方向垂直的截面的示意剖面图。该放大光纤 6 是双包层型的放大光纤, 其具备: 由添加铒并且同时添加了作为光放大介质的铒 (Er) 和镱 (Yb) 的石英玻璃构成的芯线部 6a、形成于芯线部 6a 的外周且由折射率比芯线部 6a 低的石英玻璃构成的内侧包层部 6b、形成于内侧包层部 6b 的外周且由折射率比内侧包层部 6b 低的树脂构成的外侧包层部 6c。另外, 放大光纤 6 的外径例如为  $250 \mu\text{m}$ 。

[0081] 另外, 光纤光栅 5 也是具有与放大光纤 6 相同的截面构造, 在芯线部添加有铒的双包层型光纤。另外, 光纤光栅 7 不是双包层型, 而是具有下述构造, 即, 在图 2 所示的放大光纤 6 的构造中, 将由内侧包层部 6b 和外侧包层部 6c 构成的包层部置换为一层包层部, 进而而在该包层部的外周具备用于保护光纤的玻璃部分的树脂包覆。

[0082] 另外, 单模光纤 8a 也为具有与光纤光栅 7 相同构造的光纤。另外, 多模光纤  $2_1 \sim 2_n$ 、4 具有具备芯线部和包层部的通常的构造, 是芯线部的芯线径例如为  $105 \mu\text{m}$  的多模光纤, 以通过多模传输激励光的波长光的方式构成。另外, 作为多模光纤 4, 也可以使用双包层型的光纤。

[0083] 另外, 形成于光纤光栅 5、7 的光栅部 51、71 被设定间距等, 以具有以添加到放大光纤 6 的芯线部 6a 的光放大物质即 Er 的发光频带内的规定的波长、例如  $1556\text{nm}$  附近的波长为中心的反射频带。另外, 光栅部 51 的最大反射率约为  $100\%$ , 光栅部 71 的最大反射率约为  $10 \sim 30\%$ 。

[0084] 接着, 对保持构造 9 进行说明。图 3 是图 1 所示的保持构造 9 的示意立体图。该保持构造 9 具备例如由铝等金属构成的基体 9a 和以覆盖基体 9a 的上面至少一部分的方式密接形成的片状的热传导性成形体 9b。热传导性成形体 9b 的厚度例如为  $0.5 \sim 10\text{mm}$ 。另外, 该保持构造 9 安装于该光纤激光器 100 的框体内。或者, 该框体的一部分兼作基体 9a。而且, 该保持构造 9 在热传导性成形体 9b 的表面保持有处于以彼此不重合的方式卷绕成同心圆状的状态的放大光纤 6。

[0085] 接着, 对该光纤激光器 100 的动作进行说明。首先, 当半导体激光器  $1_1 \sim 1_n$  输出波长  $975 \pm 5\text{nm}$  的激励光时, 多模光纤  $2_1 \sim 2_n$  将各激励光导波, TFB3 将导波的各激励光耦合并向多模光纤 4 输出。多模光纤 4 通过多模传输耦合后的激励光。之后, 光纤光栅 5 透过在多模光纤 4 传输的激励光到达放大光纤 6。

[0086] 到达放大光纤 6 的激励光边在放大光纤 6 的内侧包层部 6b 内以多模传输, 边经由添加在放大光纤 6 的芯线部 6a 中的 Yb 将 Er 进行光激励, 使具有包含波长  $1560\text{nm}$  的波长频带的荧光发光。该荧光边在光纤光栅 5、7 构成的光谱振荡器内以单模往复, 边通过 Er 受激发射作用放大, 在振荡波长  $1560\text{nm}$  进行激光振荡。然后, 光纤激光器 100 从输出端子 8 输出例如光强度  $100\text{W}$  的激光 L1。

[0087] 在此, 在放大光纤 6 中, 由于存在激励光和激光振荡光, 故而光强度极强。因此, 放大光纤 6 因其中的光损耗而发热。另外, 在放大光纤 6 的情况下, 在其中从激励光向激光振

荡光的转换以规定的能量转换效率进行。因此,在该转换时损失的能量成为热,所以特别容易发热。

[0088] 但是,在该光纤激光器 100 中,放大光纤 6 的热传导率为 0.5W/mK 以上,且以卷绕于 ASKER C 硬度为 20 ~ 50 的热传导性成形体 9b 上的状态保持于保持构造 9。其结果是,放大光纤 6 由于以不产生弯曲带来的过剩的光损耗的方式被保持,故而不会产生过剩的热,且产生的热被迅速地散热。因此,放大光纤 6 的温度上升被抑制,防止能量转换效率的降低,也可维持可靠性。

[0089] 图 4 是图 3 所示的保持构造 9 的 A-A 线剖面图。如图 4 所示,在保持构造 9 中,放大光纤 6 适度地沉入具有适宜的硬度的热传导性成形体 9b,以不产生微小的弯曲等的状态保持,因此,不会产生弯曲损耗等的过剩的光损耗。另外,在放大光纤 6 产生的热通过热传导性成形体 9b 的高的热传导率而被迅速地散热。另外,该保持构造 9 由于以按照相互不重合的方式卷绕成同心圆状的状态保持放大光纤 6,故而也可以防止放大光纤 6 的互相重叠带来的弯曲损耗。

[0090] 另外,通常,光纤的芯体主要可由石英玻璃构成,具有某一定的弹性。另外,光纤在其制造时卷绕在线轴及卷筒上,且以该状态一直保管至下一次使用时。由于这样的保管状态及期间,主要是光纤外周的树脂包覆层受到的卷绕时的应力及应变缓和,经常产生某种“卷取痕迹”残留的情况。因此,例如光纤激光器等中,为了向装置的框体收容,即使以卷绕成同心圆状的状态保持光纤,也会因光纤自身的弹性及卷取痕迹而从所希望的形状产生巨变。因此,在使用热传导性成形体进行光纤的散热时,为防止这样的形状的巨变,对于热传导性成形体要求用于将光纤固定为所希望的形状的某种粘接性。

[0091] 但是,在现有的热传导性成形体的情况中,由于大量含有热传导性填充剂,因此,硬度及受到压缩应力时的应变等不适当,不能期望上述那样的用于固定光纤的粘接性。或者也可以想出在现有的热传导性成形体表面设置粘接层来固定光纤的方法,但由于不能对具有一定以上的粘接力的粘接层赋予足够的热传导性,故而热传导性下降。

[0092] 另一方面,也可以想出降低热传导性成形体的硬度,使相对于压缩的反作用弹性极其低的方法,但在不具有适宜的硬度及对于压缩应力的应变量的热传导性成形体上保持光纤的情况下,虽然不会产生形状的巨变,但在进行线圈状态的成形时或装置的组装时,光纤上容易产生局部的弯曲,且以产生该弯曲后的状态保持,由此,光纤可能产生弯曲损耗。

[0093] 与之相对,本实施方式 1 中,在保持构造 9 中,通过使用热传导率为 0.5W/mK 以上,且 ASKER C 硬度为 20 ~ 50 的热传导性成形体 9b,实现不产生微小的弯曲等的状态下的放大光纤 6 的保持,且确保充分的散热性。

[0094] 另外,作为热传导性成形体 9b 的特性,更优选的是,压缩强度以峰值计为 10 ~ 30N/cm<sup>2</sup>,以稳定值计为 3 ~ 10N/cm<sup>2</sup>。另外,更优选的是,热传导率为 1.0W/mK 以上,且 ASKER C 硬度为 25 ~ 40。另外,进一步优选的是,热传导率为 1.5W/mK 以上,ASKER C 硬度为 25 ~ 35,压缩强度以峰值计为 15 ~ 25N/cm<sup>2</sup>。

[0095] 另外,具有上述特性的热传导性成形体 9b 例如可如下实施,对于以规定的配合比配合有丙烯酸橡胶和热塑性弹性体的基础橡胶,含有规定量的氧化铝、氧化镁、氮化硼、氮化铝、氢氧化铝、氢氧化镁等热传导性填料,且优选将适宜含有软化剂的热传导性组合物成形为片状。

[0096] 如以上所说明,本实施方式 1 的光纤保持构造 9 散热性高,并且可以以低光损耗保持放大光纤 6。

[0097] (实施例 1 ~ 7、比较例 1 ~ 5)

[0098] 接着,基于实施例、比较例对本发明进行更详细说明,但本发明不限于此。

[0099] 作为本发明的实施例 1 ~ 7、比较例 1 ~ 5,制作了与图 1 所示的结构相同的光纤激光器。此时,作为保持构造,设定为在由铝构成的板状的基体的表面贴附有厚度 3mm 的片状热传导性成形体的构造。而且,设定为在该保持构造上同心圆状地卷绕有长度 20m 的放大光纤的状态,对放大光纤同样施加规定的压力,按压固定在热传导性成形体上。另外,将从 18 个半导体激光器输出的激励光的强度分别设定为 10W,以使从输出端子输出的激光的强度为 100W 的方式构成光纤激光器。

[0100] 在此,各实施例、比较例中,使用不同组成的热传导性成形体,且使其热传导率、ASKER C 硬度、压缩强度不同。具体而言,使用的热传导性成形体为,对于丙烯酸橡胶和热塑性弹性体的配合比不同的基础橡胶 100 质量份,作为热传导填料,配合仅规定质量份的选自形状为球状且平均粒径为 35  $\mu\text{m}$  的氧化铝 A、形状为圆形且平均粒径为 22  $\mu\text{m}$  的氧化铝 B、以及形状为不规则形且平均粒径为 8  $\mu\text{m}$  的氢氧化铝的至少一种,进而作为软化剂,配合仅规定质量份的聚醚脂系油即油 A、链烷烃系油即油 B,将它们进行混炼,制作热传导性橡胶组合物,进而将该热传导性橡胶组合物用挤压机挤压成厚度 3mm 的片状,制成热传导性成形体。

[0101] 另外,对于这样制作的热传导性成形体,热传导率、ASKER C 硬度、压缩强度如下测定。首先,根据 JIS R 2616 规定的热线法,利用京都电子工业社制的迅速热传导率计,将各实施例、比较例的热传导性成形体重合两个,以厚度 6mm 的状态测定热传导率。另外,使用高分子计器公司制的 ASKER C 型硬度计测定 ASKER C 硬度。

[0102] 另外,对于压缩强度,将各实施例、比较例的热传导性成形体作成 3mm $\times$ 20mm $\times$ 20mm 大小的试样,用市售的压缩试验机以 5mm/分钟的速度压缩各试样,测定压缩厚度的 30% 的时刻的峰值及保持该状态经过 10 分钟时的稳定值。

[0103] 而且,对制作好的各实施例、比较例的光纤激光器进行以下的评价。

[0104] < 光纤温度 ( $\Delta T$ ) >

[0105] 在此,光纤温度 ( $\Delta T$ ) 是指在用 NEC Avio 红外线 technology 公司制的带可见及红外切换功能的温度记录仪 (サーモレーサ TH9260) 从外部观察放大光纤的温度分布时,温度记录仪的视场中的最高的温度和室温的温度差。

[0106] < 线圈形状稳定性 >

[0107] 线圈形状稳定性是指能否维持如图 3、4 所示那样配置的放大光纤的同心圆状的线圈形状的初始配置。该评价通过每隔规定时间目视观察放大光纤的状态,确认有无从初始配置偏移 (移动) 来执行。

[0108] < 结果 >

[0109] 图 5 是表示实施例 1 ~ 7 的光纤激光器的热传导性成形体的特性及光纤温度 ( $\Delta T$ ) 以及线圈形状稳定性的图。如图 5 所示,在该实施例 1 ~ 7 中,热传导性成形体的热传导率为 0.5W/mK 以上,且 ASKER C 硬度为 20 ~ 50,因此,光纤温度被抑制得较低。另外,实施例 3 及 4 中,由于热传导率为 1.0W/mK 以上,所以光纤温度的上升被抑制得更低,进而



在实施例 5 ~ 7 中,由于热传导率为 1.5W/mK 以上,所以光纤温度的上升被抑制得较低。并且,实施例 4 ~ 7 中,ASKER C 硬度为更优选的范围即 25 ~ 40,且压缩强度的峰值为更优选的范围即 15 ~ 25N/cm<sup>2</sup>,因此,保持光纤时的粘接性处于最佳状态。认为这一点也有助于光纤温度的抑制。另外,对于线圈形状稳定性,任何的实施例中,240 小时后都没有发现放大光纤从初始配置偏移。即,线圈形状稳定。

[0110] 另一方面,图 6 是表示比较例 1 ~ 5 的光纤激光器的热传导性成形体的特性及光纤温度 ( $\Delta T$ ) 以及线圈形状稳定性的图。如图 6 所示,比较例 1、2 中,由于热传导性成形体的热传导性不足,故而放大光纤的温度大致一样地上升,光纤温度 ( $\Delta T$ ) 增大。特别是在比较例 2 中,预想到,光纤温度 ( $\Delta T$ ) 达到 +70°C,在该状态下连续使用时,带来放大光纤的外侧包层的劣化、进而装置寿命的低下。另外,关于比较例 5,由于热传导性成形体过于柔软,因此,放大光纤产生局部的弯曲,在该部分产生大的温度上升即光纤温度 ( $\Delta T$ ) 的增大。另外,关于比较例 3、4,线圈形状稳定性成为光纤的配置偏移初始配置、中断光纤的温度 ( $\Delta T$ ) 测定的结果。关于比较例 1、2、5,任何的比较例中,在 240 小时后,都没有发现放大光纤偏移初始配置。即,线圈形状稳定。

[0111] (变形例)

[0112] 可以在上述实施方式 1 中使用的保持构造不限于图 1 所示的构造。下面,对可以在实施方式 1 中使用的保持构造的变形例进行说明。

[0113] (变形例 1)

[0114] 图 7 是变形例 1 的保持构造的示意性透视剖面图。如图 7 所示,变形例 1 的保持构造 19 与图 1 所示的保持构造 9 相同,具备由铝等金属构成的基体 19a 和热传导性成形体 9b。但是,与保持构造 9 不同,在该保持构造 19 上,在基体 19a 上配设有作为冷却装置的配管 19b ~ 19d。另外,该保持构造 19 以夹在热传导性成形体 9b 的表面和基体 19a 的表面之间的方式保持处于以彼此不重合的方式卷绕成同心圆状的状态的放大光纤 6。另外,由于放大光纤 6 沉入具有适宜的硬度的热传导性成形体 9b,所以基体 19a 和热传导性成形体 9b 成为密接的状态。

[0115] 在此,配管 19b、19c 分别其一端与配置于外部的泵等给排水机构连接,另一端与配管 19d 连接。另外,配管 19d 遍布于基体 19a 的内部。而且,配管 19b 将从给排水机构供给的冷却水导入配管 19d,配管 19d 使冷却水在基体 19a 内流动,配管 19b 将冷却水从配管 19d 向给排水机构排水。此时,配管 19d 内流动的冷却水对热传导性成形体 9b 进行冷却,因此,在放大光纤 6 中产生的热被更进一步迅速地散热。另外,也可以使用冷却液等冷却介质代替冷却水。

[0116] 另外,放大光纤 6 形成以彼此不重合的方式卷绕的状态,但对于放大光纤 6 中取出到外部的部分,与卷绕的状态的部分产生重合(图 7 中由符号 X 表示的部分)。但是,该重合是轻微的,且由于放大光纤 6 沉入热传导性成形体 9b,因此,在该部分 X 的放大光纤 6 的重合带来的弯曲损耗轻微,可以忽视。

[0117] 另外,该变形例 1 中,由于热传导性成形体 9b 为与基体 19a 相同的面积,因此,散热性高,所以优选。但是,对于热传导性成形体 9b,如果为覆盖放大光纤 6 那样的形状,则在保持性及散热性方面足够。因此,作为热传导性成形体,例如也可以使用与安置有放大光纤 6 的区域的形状相适合的环形的热传导性成形体。

[0118] (变形例 2)

[0119] 图 8 是变形例 2 的保持构造的示意立体图。如图 8 所示,变形例 2 的保持构造 29 中,在基体 9a 的上面堆积形成有作为热传导性成形体的多个热传导性片 29b ~ 29g。该热传导性片 29b ~ 29g 与实施方式 1 的热传导性成形体 9b 相同,热传导率为 0.5W/mK 以上,且 ASKER C 硬度为 20 ~ 50。

[0120] 图 9 是图 8 所示的保持构造 29 的 B-B 线剖面图。如图 9 所示,该保持构造 29 以夹在热传导性片 29b ~ 29g 的对向的表面间的方式保持放大光纤 6。另外,由于放大光纤 6 沉入具有适宜的硬度的热传导性片 29b ~ 29g,所以热传导性片 29b ~ 29g 彼此成为密接的状态。另外,放大光纤 6 在热传导性片 29b ~ 29g 之间分别为一重卷绕的状态。因此,放大光纤 6 彼此间被保持为彼此不重合。这样的保持构造 29 也成为散热性高并且能够以低光损耗保持光纤的结构。

[0121] 另外,上述实施方式 1 及变形例 2 中,也可以将基体 9a 置换为配设有配管 19b ~ 19d 的变形例 1 的基体 19a。另外,作为冷却装置,不限于变形例 1 那样的使用配管 19b ~ 19d 和冷却水的装置,例如也可以在保持构造的外表面配设珀尔帖元件作为冷却装置使用。

[0122] 另外,在上述实施方式及其变形例中,保持构造是保持放大光纤的部件,但要保持的光纤不限于此。例如,利用四波混频作为非线性效应的非线性光纤,是使高强度的光输入的光纤,是利用有温度依赖性的零色散波长特性的光纤。因此,如果应用本发明的光纤的保持构造,则可防止零色散波长的变动,因此,可防止四波混频的发生效率的下降,还可以维持非线性光纤及使用其的装置的可靠性。

[0123] (实施方式 2)

[0124] 图 10 是使用本发明实施方式 2 的光纤保持构造的光纤激光器 200 的示意图。如图 10 所示,该光纤激光器 200 具备:将 n 设定为 1 以上的整数,具备输出波长  $975 \pm 5\text{nm}$  的激励光的多模半导体激光器即半导体激光器  $101_1 \sim 101_n$  的激励光源 101、多模光纤  $102_1 \sim 102_n$ 、TFB(Tapered FiberBundle)103、多模光纤 104、形成有具有折射率周期性变化的构造的光栅部 151 的光纤光栅 105、放大光纤 106、形成有光栅部 171 的光纤光栅 107、具有单模光纤 108a 的光连接器等输出端子 108。另外,该光纤激光器 200 具备放大光纤 106 的保持构造 109。

[0125] 多模光纤  $102_1 \sim 102_n$  以将半导体激光器  $101_1 \sim 101_n$  输出的激励光导波的方式连接。另外,TFB103 以将多模光纤  $102_1 \sim 102_n$  导波的各激励光耦合并从多模光纤 104 输出的方式构成。另外,光纤光栅 105 在连接点 C101 与多模光纤 104 熔接。另外,放大光纤 106 在连接点 C102 与光纤光栅 105 熔接。另外,光纤光栅 107 在连接点 C103 与放大光纤 106 熔接。另外,输出端子 108 的单模光纤 108a 在连接点 C104 与光纤光栅 107 熔接。

[0126] 图 11 是图 10 所示的放大光纤 106 的与长度方向垂直的截面的示意剖面图。该放大光纤 106 是双包层型的放大光纤,其具备:由添加铯并且同时添加了作为光放大介质的铒(Er)和镱(Yb)的石英玻璃构成的芯线部 106a、形成于芯线部 106a 的外周且由折射率比芯线部 106a 低的石英玻璃构成的内侧包层部 106b、形成于内侧包层部 106b 的外周且由折射率比内侧包层部 106b 低的树脂构成的外侧包层部 106c。另外,放大光纤 106 的外径例如为  $250 \mu\text{m}$ 。

[0127] 另外,光纤光栅 105 也具有与放大光纤 106 相同的截面构造,是在芯线部添加有铯

的双包层型光纤。另外,光纤光栅 107 不是双包层型,而具有下述构造,即,在图 11 所示的放大光纤 106 的构造中,将由内侧包层部 106b 和外侧包层部 106c 构成的包层部置换为一层包层部,进而在该包层部的外周具备用于保护光纤的玻璃部分的树脂包覆。

[0128] 另外,单模光纤 108a 也为具有与光纤光栅 107 相同构造的光纤。另外,多模光纤  $102_1 \sim 102_n$ 、104 具有具备芯线部和包层部的通常的构造,是芯线部的芯线径例如为  $105 \mu\text{m}$  的多模光纤,以通过多模传输激励光的波长光的方式构成。另外,作为多模光纤 104,也可以使用双包层型的光纤。

[0129] 另外,形成于光纤光栅 105、107 的光栅部 151、171 被设定间距等,以具有以添加到放大光纤 106 的芯线部 106a 的光放大物质即 Er 的发光频带内的规定的波长、例如 1556nm 附近的波长为中心的反射频带。另外,光栅部 151 的最大反射率约为 100%,光栅部 171 的最大反射率约为 10 ~ 30%。

[0130] 另外,保持构造 109 具有圆柱形状,在例如由铝等金属构成的圆柱形状的基体 109a 的外周卷绕片状的热传导性成形体 109b 而构成。热传导性成形体 109b 的厚度例如为 0.5 ~ 10mm。而且,保持构造 109 在由其热传导性成形体 109b 构成的外周表面,以按照彼此不重合的方式一重卷绕成线圈状的状态保持放大光纤 106。

[0131] 接着,对该光纤激光器 200 的动作进行说明。首先,当半导体激光器  $101_1 \sim 101_n$  输出波长  $975 \pm 5\text{nm}$  的激励光时,多模光纤  $102_1 \sim 102_n$  将各激励光导波,TFB103 将导波来的各激励光耦合并向多模光纤 104 输出。多模光纤 104 通过多模传输耦合后的激励光。之后,光纤光栅 105 透过在多模光纤 104 中传输的激励光到达放大光纤 106。

[0132] 到达放大光纤 6 的激励光边在放大光纤 106 的内侧包层部 106b 内以多模传输,边经由放大光纤 106 的芯线部 106a 中添加的 Yb 将 Er 进行光激励,使具有包含波长 1560nm 的波长频带的荧光发光。该荧光边在光纤光栅 105、107 构成的光谱振器内以单模往复,边通过 Er 受激发射作用放大,在振荡波长 1560nm 进行激光振荡。然后,光纤激光器 200 从输出端子 108 输出例如光强度 100W 的激光 L101。

[0133] 在此,在放大光纤 106 中,由于存在激励光和激光振荡光,故而光强度极强。因此,放大光纤 106 因其中的光损耗而发热。另外,在放大光纤 106 的情况下,在其中从激励光向激光振荡光的转换以规定的能量转换效率进行。因此,在该转换时损失的能量成为热,所以特别容易发热。

[0134] 但是,在该光纤激光器 200 中,放大光纤 106 的热传导率为 0.5W/mK 以上,且以卷绕于 ASKER C 硬度为 20 ~ 50 的热传导性成形体 109b 上的状态保持于保持构造 109。其结果是,放大光纤 106 由于以不产生弯曲带来的过剩的光损耗的方式保持,故而不会产生过剩的热,且产生的热被迅速的散热。因此,放大光纤 106 的温度上升被抑制,防止能量转换效率的降低,也可维持可靠性。

[0135] 图 12 是图 10 所示的保持构造 109 的外周表面附近的示意性剖面图。如图 12 所示,在保持构造 109 中,放大光纤 106 适度地沉入具有适宜的硬度的热传导性成形体 109b,以不产生微小的弯曲等的状态保持,因此,不会产生弯曲损耗等过剩的光损耗。另外,在放大光纤 106 产生的热通过热传导性成形体 109b 的高的热传导率而被迅速地散热。另外,该保持构造 109 由于以相互不重合的方式保持放大光纤 106,故而也可以防止放大光纤 106 的重合带来的弯曲损耗。另外,根据该保持构造 109,由于在以同一卷绕直径卷绕的状态保持

放大光纤 106, 因此, 例如能够以比同心圆状卷绕并保持的情况小的设置面积保持放大光纤 106, 且在放大光纤 106 中取出到外部的部分可以避免因与卷绕的状态的部分重合而可能产生的弯曲损耗。

[0136] 另外, 通常, 光纤的芯体主要可由石英玻璃构成, 具有某一定的弹性。另外, 光纤在其制造时卷绕在线轴及卷筒上, 且在该状态下一直保管至下一次使用时。由于这样的保管状态及期间, 主要是光纤外周的树脂包覆层受到的卷绕时的应力及应变缓和, 经常产生某种“卷取痕迹”残留的情况。因此, 例如光纤激光器等中, 为了向装置的框体收容, 即使将光纤卷绕到其它线轴等上并保持规定的线圈状, 也会因光纤自身的弹性及卷取痕迹而从所希望的形状产生巨变。因此, 在使用热传导性成形体进行光纤的散热时, 为防止这样的形状的巨变, 对于热传导性成形体要求用于将光纤固定为所希望的线圈状的某种粘接性。

[0137] 但是, 在现有的热传导性成形体的情况中, 由于大量含有热传导性填充剂, 因此, 硬度及受到压缩应力时的应变等不适当, 不能期望上述那样的用于固定光纤的粘接性。或者也可以想出在现有的热传导性成形体表面设置粘接层来固定光纤的方法, 但由于不能对具有一定以上的粘接力的粘接层赋予充分的热传导性, 故而热传导性低下。

[0138] 另一方面, 也可以想出降低热传导性成形体的硬度, 使相对于压缩的反作用弹性极其低的方法, 但在不具有适宜的硬度及相对于压缩应力的应变量的热传导性成形体上保持光纤的情况下, 虽然不会产生形状的巨变, 但在进行线圈状态的成形时或装置的组装时, 光纤上容易产生局部的弯曲, 且以产生该弯曲的状态保持, 由此, 光纤可能产生弯曲损耗。

[0139] 与之相对, 本实施方式 2 中, 在保持构造 109 中, 通过使用热传导率为 0.5W/mK 以上, 且 ASKER C 硬度为 20 ~ 50 的热传导性成形体 109b, 实现不产生微小的弯曲等的状态下的放大光纤 106 的保持, 且确保充分的散热性。

[0140] 另外, 作为热传导性成形体 109b 的特性, 更优选的是, 压缩强度以峰值计为 10 ~ 30N/cm<sup>2</sup>, 以稳定值计为 3 ~ 10N/cm<sup>2</sup>。另外, 更优选的是, 热传导率为 1.0W/mK 以上, 且 ASKER C 硬度为 25 ~ 40。另外, 进一步优选的是, 热传导率为 1.5W/mK 以上, ASKER C 硬度为 25 ~ 35, 压缩强度以峰值计为 15 ~ 25N/cm<sup>2</sup>。

[0141] 另外, 具有上述特性的热传导性成形体 109b 例如可如下实施, 对于以规定的配合比配合有丙烯酸橡胶和热塑性弹性体的基础橡胶, 含有规定量的氧化铝、氧化镁、氮化硼、氮化铝、氢氧化铝、氢氧化镁等热传导性填料, 且优选将适宜含有软化剂的热传导性组合物成形为片状。

[0142] ( 实施例 8 ~ 14、比较例 6 ~ 10)

[0143] 接着, 基于实施例、比较例对本发明进行更详细说明, 但本发明不限于此。

[0144] 作为本发明的实施例 8 ~ 14、比较例 6 ~ 10, 制作了与图 10 所示的结构相同的光纤激光器。此时, 作为保持构造, 在由铝构成的外径 30cm 的卷筒上以一定张力卷绕厚度 3mm 的热传导性成形体, 且在其上以一定张力卷绕并固定长度 20m 的放大光纤。另外, 将从 18 个半导体激光器输出的激励光的强度分别设为 10W, 以使从输出端子输出的激光的强度为 100W 的方式构成光纤激光器。

[0145] 在此, 各实施例、比较例中, 使用不同组成的热传导性成形体, 且使其热传导率、ASKER C 硬度、压缩强度不同。具体而言, 使用的热传导性成形体为, 相对于丙烯酸橡胶和热塑性弹性体的配合比不同的基础橡胶 100 质量份, 作为热传导填料, 配合仅规定质量份的

选自形状为球状且平均粒径为  $35\ \mu\text{m}$  的氧化铝 A、形状为圆形且平均粒径为  $22\ \mu\text{m}$  的氧化铝 B、以及形状为不规则形且平均粒径为  $8\ \mu\text{m}$  的氢氧化铝的至少一种,进而作为软化剂,配合仅规定质量份的聚醚脂系油即油 A、链烷烃系油即油 B,将它们混炼,制作热传导性橡胶组合物,进而将该热传导性橡胶组合物用挤压机挤压成厚度  $3\text{mm}$  的片状,制成热传导性成形体。

[0146] 另外,对于这样制作的热传导性成形体,热传导率、ASKER C 硬度、压缩强度如下测定。首先,根据 JIS R 2616 规定的热线法,利用京都电子工业社制的迅速热传导率计,将各实施例、比较例的热传导性成形体重合两个,以厚度  $6\text{mm}$  的状态测定热传导率。另外,ASKER C 硬度使用高分子计器公司制的 ASKER C 型硬度计测定。

[0147] 另外,对于压缩强度,将各实施例、比较例的热传导性成形体作成  $3\text{mm}\times 20\text{mm}\times 20\text{mm}$  大小的试样,用市售的压缩试验机以  $5\text{mm}/\text{分钟}$  的速度压缩各试样,测定压缩厚度的  $30\%$  的時刻的峰值及保持该状态经过  $10$  分钟时的稳定值。

[0148] 而且,对制作好的各实施例、比较例的光纤激光器进行以下的评价。

[0149] <线圈形状保持性>

[0150] 在此,线圈形状保持性是指保持构造可以在何种程度时间内保持放大光纤的线圈形状。该线圈形状保持性的评价是通过如下方式进行的,即在将放大光纤成形为线圈形状并固定后的经过时间内,每隔规定时间进行目视观察,确认有无从最初的线圈形状产生巨变,例如放大光纤的松解及脱离保持构造等。另外,目视观察在固定为线圈形状后经过  $4$ 、 $24$ 、 $72$ 、 $120$ 、 $240$  小时后进行。

[0151] <光纤温度 ( $\Delta T$ )>

[0152] 在此,光纤温度 ( $\Delta T$ ) 是指在用 NEC Avio 红外线 technology 公司制的带可见及红外切换功能的温度记录仪 (サーモトレーサ TH9260) 从外部观察放大光纤的温度分布时,温度记录仪的视场中的最高的温度和室温的温度差。

[0153] <结果>

[0154] 图 13 是表示实施例 8 ~ 14 的光纤激光器的热传导性成形体的特性及其线圈形状保持性、光纤温度 ( $\Delta T$ ) 的图。如图 13 所示,在该实施例 8 ~ 14 中,热传导性成形体的热传导率为  $0.5\text{W}/\text{mK}$  以上,且 ASKER C 硬度为  $20 \sim 50$ ,因此,线圈保持形状无变化,光纤温度被抑制得较低。另外,实施例 10 及 11 中,由于热传导率为  $1.0\text{W}/\text{mK}$  以上,所以光纤温度的上升被抑制得更低,进而在实施例 12 ~ 14 中,由于热传导率为  $1.5\text{W}/\text{mK}$  以上,所以光纤温度的上升被抑制得特别低。并且,实施例 11 ~ 14 中,ASKER C 硬度为更优选的范围即  $25 \sim 40$ ,且压缩强度的峰值为更优选的范围即  $15 \sim 25\text{N}/\text{cm}^2$ ,因此,保持光纤时的粘接性处于最佳状态。认为这一点也有助于线圈形状保持性及光纤温度的抑制。

[0155] 另一方面,图 14 是表示比较例 6 ~ 10 的光纤激光器的热传导性成形体的特性及其线圈形状保持性、光纤温度 ( $\Delta T$ ) 的图。如图 14 所示,比较例 6、7 中,由于热传导性成形体的热传导性不足,故而放大光纤的温度大致一样地上升,光纤温度 ( $\Delta T$ ) 增大。特别是在比较例 7 中,可预想到,光纤温度 ( $\Delta T$ ) 达到  $81^\circ\text{C}$ ,在该状态下连续使用时,带来放大光纤的外侧包层的劣化、进而装置寿命的低下。另外,比较例 8、9 中,ASKER C 硬度和压缩强度不适当,没有足够的粘接性,因此,不能保持线圈形状,在经过  $24$  小时后,放大光纤脱离保持构造。另外,关于比较例 10,由于热传导性成形体过于柔软,因此,放大光纤产生局部的弯

曲,在该部分产生大的温度上升即光纤温度( $\Delta T$ )的增大。

[0156] (变形例)

[0157] 可以在上述实施方式2中使用的保持构造不限于图10所示的构造。下面,对可以在实施方式2中使用的保持构造的变形例进行说明。

[0158] (变形例4)

[0159] 图15是变形例4的保持构造的外周表面附近的示意剖面图。如图15所示,变形例4的保持构造119具有与图10所示的保持构造109相同的基体109a和热传导性成形体109b,并且还具备热传导性片109c。该热传导性片109c以覆盖卷绕于热传导性成形体109b的外周表面的放大光纤106的方式卷绕,与热传导性成形体109b相同,热传导率为 $0.5\text{W/mK}$ 以上,且ASKER C硬度为 $20\sim 50$ 。另外,热传导性片109c的厚度例如为 $0.5\sim 10\text{mm}$ 。根据该保持构造119,放大光纤106通过热传导性成形体109b和热传导性片109c以不产生过剩的光损耗的方式更可靠地保持,并且,产生的热比仅热传导性成形体109b的情况更快地被散热。

[0160] 另外,作为本变形例4的进一步的变形例,也可以为下述结构,从图15所示的结构中删除热传导性成形体109b,将放大光纤106卷绕于基体109a,以覆盖放大光纤106的方式卷绕热传导性片109c。

[0161] (变形例5)

[0162] 图16是变形例5的保持构造的示意图。如图16所示,变形例5的保持构造129与图10所示的保持构造109相同,具有由铝等金属构成的基体129a和热传导性成形体109b。另外,放大光纤106卷绕于热传导性成形体109b的外周表面。但是,与保持构造109不同,在基体129a上配设有作为冷却装置的配管129b~129d。在此,配管129b、129c分别为:其一端与配置于外部的泵等给排水机构连接,另一端与配管129d连接。另外,配管129d遍布于基体129a内部的外周附近。而且,配管129b将从给排水机构供给的冷却水导入配管129d,配管129d使冷却水在基体129a内流动,配管129b将冷却水从配管129d向给排水机构排水。此时,配管129d内流动的冷却水对热传导性成形体109b进行冷却,因此,在放大光纤106中产生的热被更进一步迅速地散热。另外,也可以使用冷却液等冷却介质代替冷却水。

[0163] (变形例6)

[0164] 图17是变形例6的保持构造的示意图。如图17所示,变形例6的保持构造139具有圆柱形状,由热传导率为 $0.5\text{W/mK}$ ,且ASKER C硬度为 $20\sim 50$ 的热传导性成形体构成。而且,放大光纤106被卷绕于由该保持构造139的热传导性成形体构成的外周表面。这样的保持构造139也为散热性高并且可以以低光损耗保持光纤的结构。

[0165] 另外,上述变形例4的热传导性片109c也可以适用于变形例5、6的保持构造129、139。另外,变形例5的配管129b~129d也可以适用于变形例6的保持构造139。另外,作为冷却装置,不限于使用变形例5那样的配管129b~129d和冷却水,例如也可以在保持构造的外表面配设珀尔帖元件作为冷却装置。

[0166] 另外,在上述实施方式及其变形例中,保持构造为圆柱形状,但只要是要保持的光纤不产生弯曲损耗的形状即可,例如也可以为椭圆柱形状。另外,保持构造不限于实心的圆柱形状,也可以为中空。

[0167] 另外,上述实施方式及其变形例中,保持构造是保持放大光纤的构造,但用于保持的光纤不限于此。例如,利用四波混频作为非线性效应的非线性光纤是输入高强度的光的光纤,利用有温度依赖性的零色散波长特性。因此,如果应用本发明的光纤的保持构造,则可防止零色散波长的变动,因此,可防止四波混频的发生效率的下降,还可以维持非线性光纤及使用其的装置的可靠性。

[0168] 虽然为了完整和清楚公开而相对于特定实施方式描述了本发明,但是所附的权利要求书并不因此而局限于此,而是应该理解为涵盖所有修改和替代结构,这些修改和替代结构完全落入在此描述的基本教导内而对本领域技术人员来说是可以构想到的。

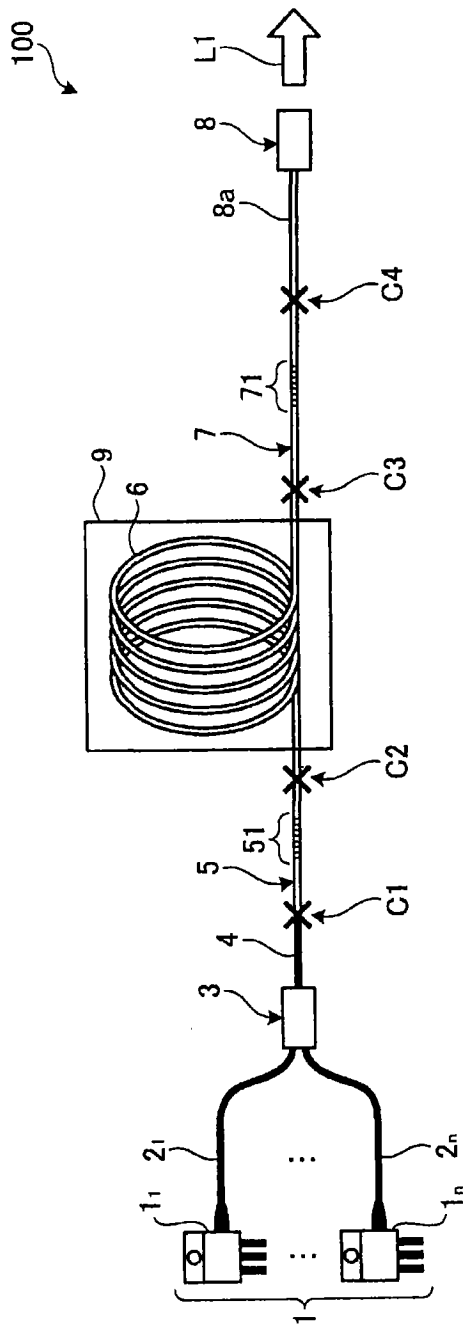


图 1

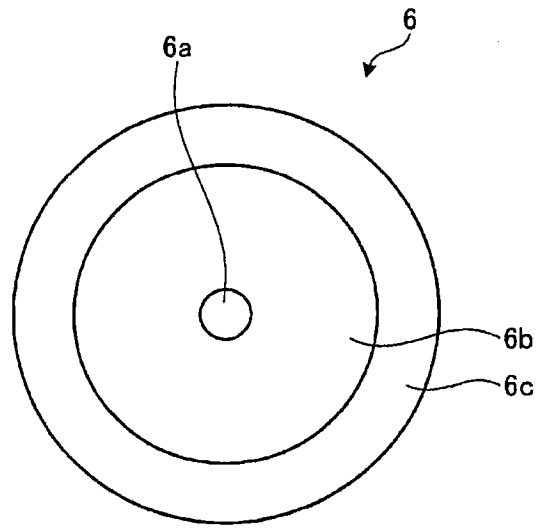


图 2



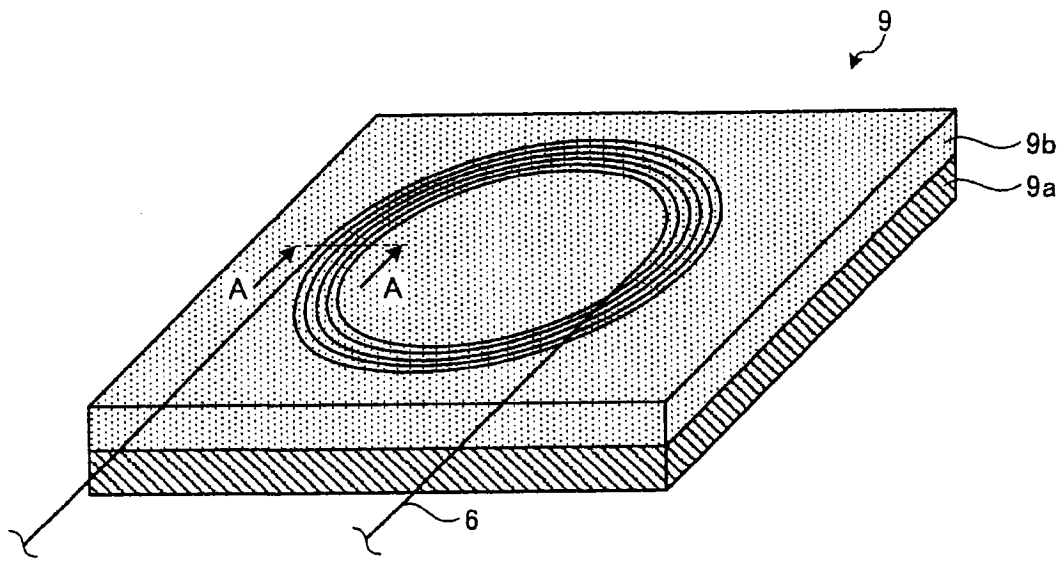


图 3

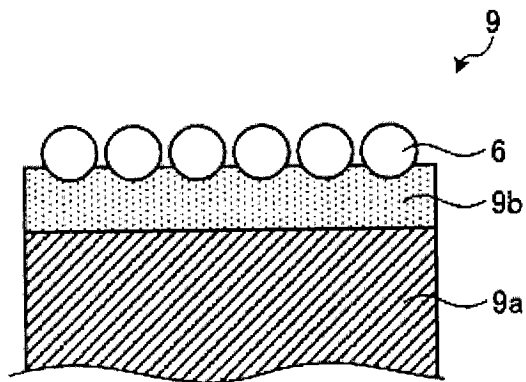


图 4

		实施例1	实施例2	实施例3	实施例4	实施例5	实施例6	实施例7
热传导率	W/mK	0.51	0.80	1.12	1.35	1.51	1.60	1.63
硬度	ASKER C	49	21	41	25	33	36	31
压缩强度	峰值	28	10	24	15	19	20	15
	稳定值	9.6	3.4	7.4	4.3	5.1	4.5	4.3
光纤温度 ( $\Delta T$ )	$^{\circ}\text{C}$	+15	+13	+9	+7	+6	+5	+5
线圈形状稳定性	时间	4						
		24						
		72						
		120						
	240							
			稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定

图 5

		比较例1	比较例2	比较例3	比较例4	比较例5
热传导率	W/mK	0.45	0.22	1.55	1.71	0.98
硬度	ASKER C	30	21	55	65	18
压缩强度	峰值	15	10	31	55	9
	稳定值	5.8	3.4	9.8	21	3.1
线圈形状稳定性	时间后					
	4	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定
	24			光纤脱离 (不稳定)	光纤脱离 (不稳定)	
	72			-	-	
	120			-	-	
	240			-	-	
光纤温度 ( $\Delta T$ )	$^{\circ}\text{C}$	+35	+70	-	-	+28

图 6

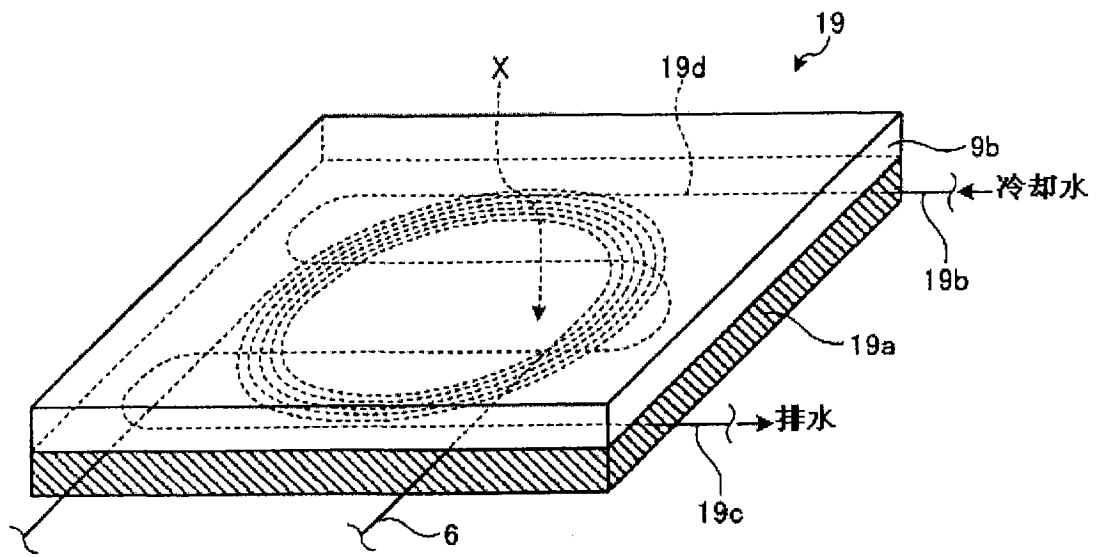


图 7

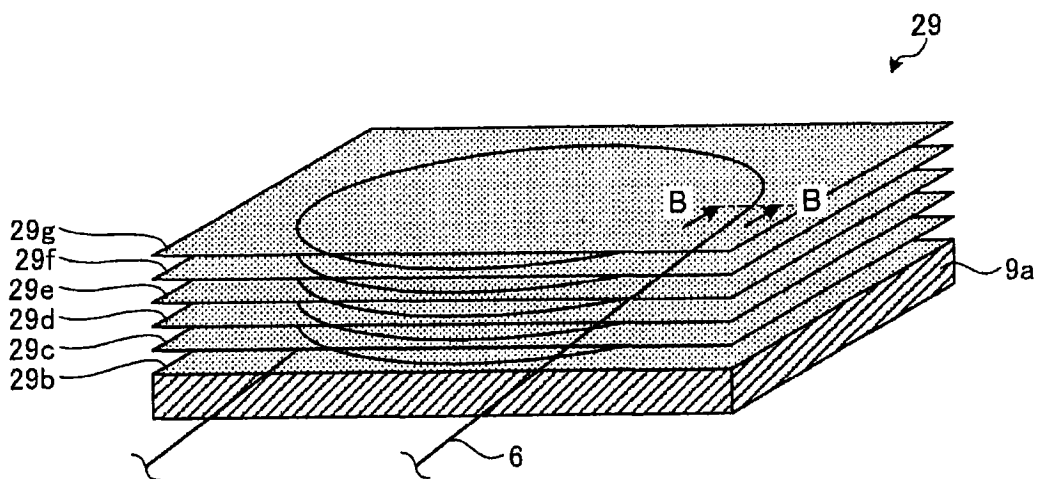


图 8

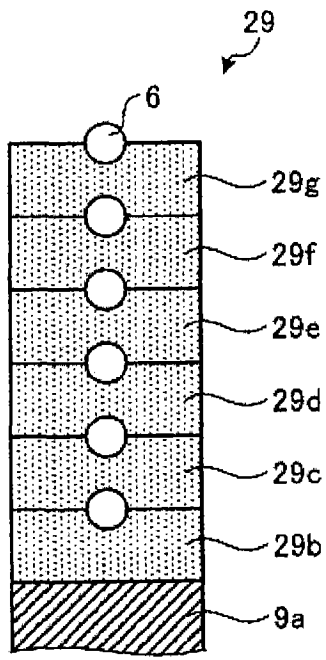


图 9

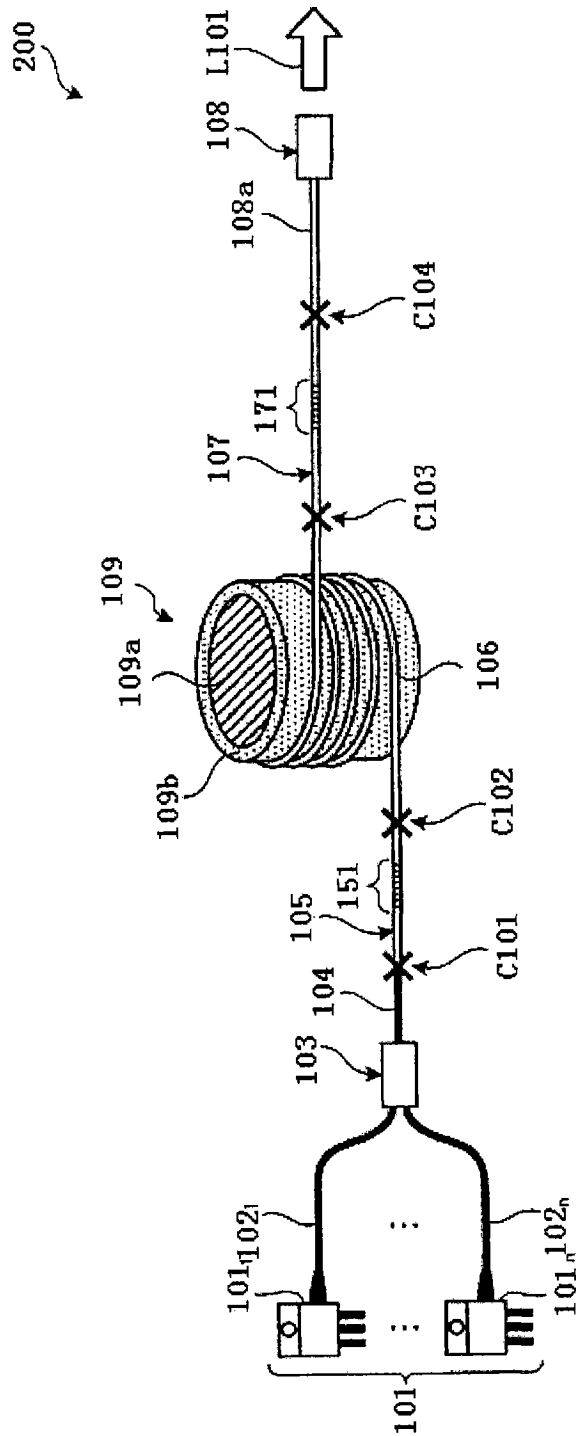


图 10

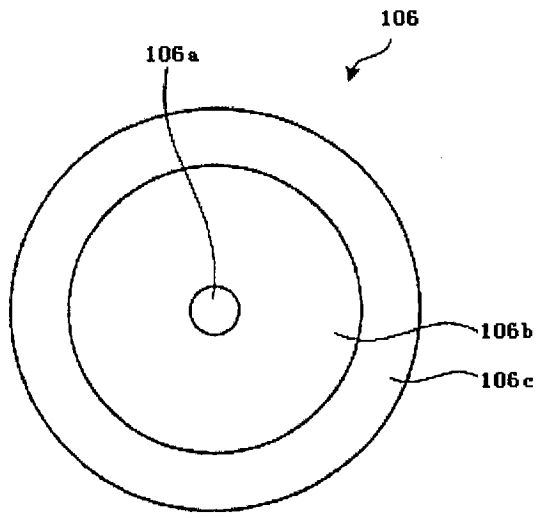


图 11

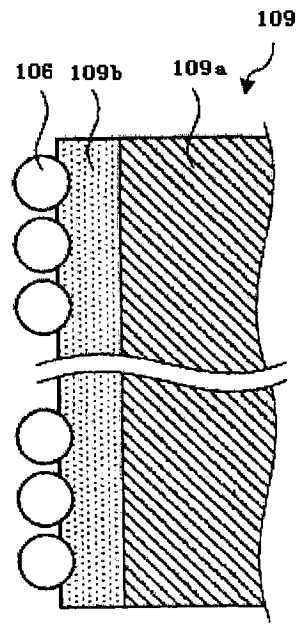


图 12

		实施例8	实施例9	实施例10	实施例11	实施例12	实施例13	实施例14
热传导率	W/mK	0.51	0.80	1.12	1.35	1.51	1.60	1.63
硬度	ASKER C	49	21	41	25	33	36	31
压缩强度	峰值	28	10	24	15	19	20	15
	稳定值	9.6	3.4	7.4	4.3	5.1	4.5	4.3
线圈形状保持性	时间后							
	4	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化
	24	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化
	72	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化
	120	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化
240	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	
光纤温度 ( $\Delta T$ )	$^{\circ}\text{C}$	+18	+15	+11	+8	+7	+5	+5

图 13

		比较例6	比较例7	比较例8	比较例9	比较例10
热传导率	W/mK	0.45	0.22	1.55	1.71	0.98
硬度	ASKER C	30	21	55	65	18
压缩强度	峰值	15	10	31	55	9
	稳定值	5.8	3.4	9.8	21	3.1
线圈形状保持性	时间后			无变化	无变化	
	4			光纤脱离	光纤脱离	无变化
	24			-	-	-
	72			-	-	-
	120			-	-	-
	240			-	-	-
光纤温度 ( $\Delta T$ )	$^{\circ}\text{C}$	+42	+81	-	-	+31

图 14

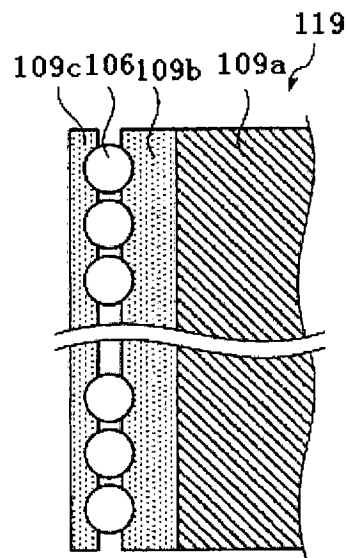


图 15



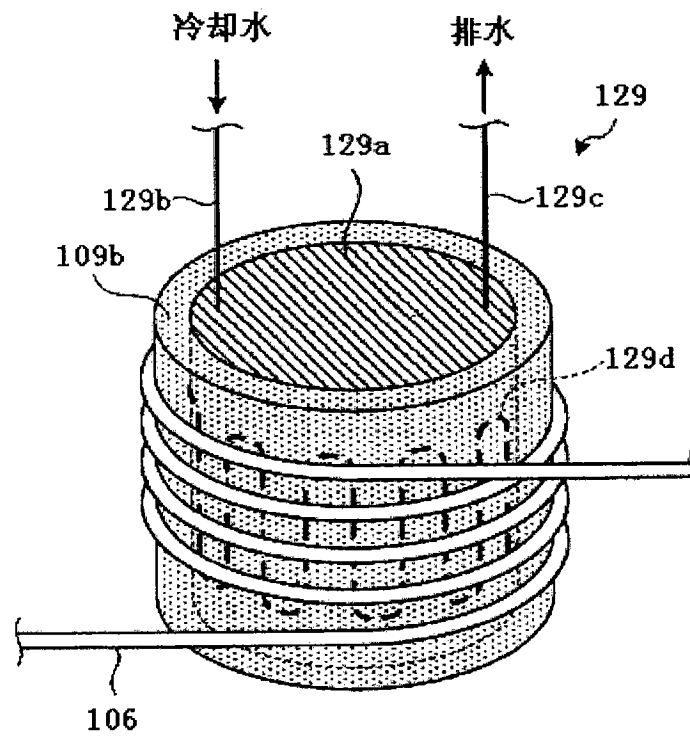


图 16

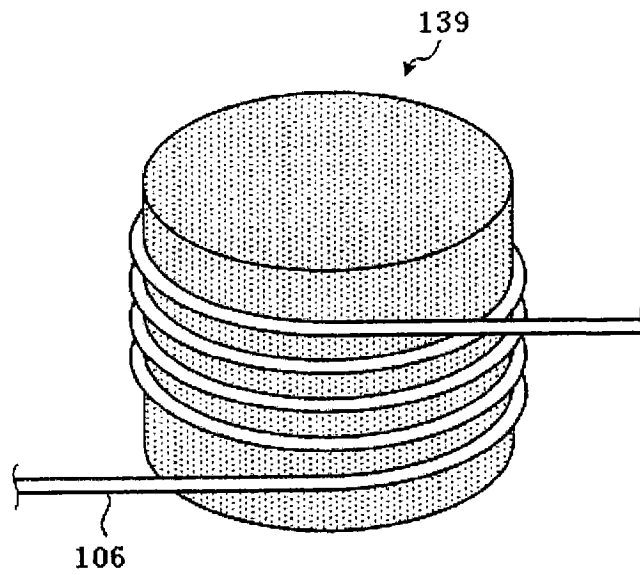


图 17