

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510091298.2

C03B 37/01 (2006.01)

C03B 37/02 (2006.01)

G02B 6/10 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 1 月 21 日

[11] 授权公告号 CN 100453483C

[22] 申请日 2003.4.28

[21] 申请号 200510091298.2

分案原申请号 03815052.2

[30] 优先权

[32] 2002.4.30 [33] US [31] 10/136,697

[73] 专利权人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 J·D·福斯特 D·W·霍托夫

C·L·莱西 Y·L·彭

D·R·鲍尔斯 J·L·塔普勒

H·B·马修斯

D·米奇斯考夫斯基 R·A·奎恩

W·J·瓦尔扎克

[56] 参考文献

US20010005993A1 2001.7.5

CN1343893A 2002.4.10

WO0127045A1 2001.4.19

CN1301674A 2001.7.4

US5320658A 1994.6.14

CN1279654A 2001.1.10

审查员 刘会英

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 陈文青

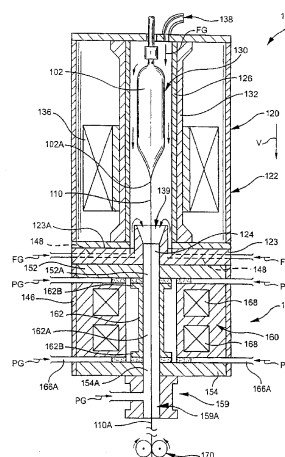
权利要求书 3 页 说明书 23 页 附图 9 页

[54] 发明名称

制造光纤的方法

[57] 摘要

公开了一种形成光纤的方法，该方法包括由玻璃预制棒以高拉丝速度（例如优选是 $>10\text{m/s}$ ）拉丝出光纤，对该光纤进行处理（退火或缓慢冷却）如下：将光纤保持在一处理温度范围内一段较短的处理时间（例如 $<0-5$ 秒）。优选是，光纤以特定的冷却速率（ $>830^\circ\text{C/s}$ 但 $<4000^\circ\text{C/s}$ ）进行冷却。该光纤处理能降低由瑞利散射造成的光纤衰减增加的趋势，和/或降低光纤在形成之后由热老化造成的随时间衰减增加的趋势。



1. 一种制造光纤的方法，该方法包括以下步骤：

由加热的玻璃源拉丝出光纤，拉丝速度大于或等于 10m/s；

对所述光纤进行如下热处理：将光纤保持在一加热的处理区内，总停留时间大于 0.07 秒但小于 0.25 秒，同时使所述光纤在所述处理区内经历的平均冷却速率为大于 2000℃/s 但小于 3500℃/s，所述平均冷却速率定义为光纤进入表面温度减去光纤离开表面温度的差除以光纤在处理区内的总停留时间得到的商；

其中所述加热的处理区包含氦气。

2. 如权利要求 1 所述的制造光纤的方法，其特征在于所述拉丝步骤还包括将光纤形成为具有氧化锆掺杂的中央纤芯和包括大致纯的二氧化硅的包层。

3. 如权利要求 1 所述的制造光纤的方法，其特征在于该方法还包括在所述热处理步骤期间使位于所述加热的处理区内的光纤处于含氦气和氩气的气氛中的步骤。

4. 如权利要求 1 所述的制造光纤的方法，其特征在于该方法还包括如下步骤：在所述热处理步骤过程中在至少一部分所述加热的处理区内使光纤处于大于 1300℃ 的炉温。

5. 如权利要求 4 所述的制造光纤的方法，该方法还包括在所述热处理步骤过程中使光纤处于多个加热区的步骤，所述多个加热区中至少一个加热区的设定温度不同于所述多个加热区中另一个加热区的设定温度。

6. 如权利要求 5 所述的制造光纤的方法，该方法还包括如下步骤：控制所述多个加热区中的所述至少一个加热区的温度，使其具有 1400-1600℃ 范围内的温度。

7. 如权利要求 5 所述的制造光纤的方法，其中，所述的多个加热区包括靠近拉丝炉的第一区和拉丝炉更下游的第二区，该方法还包括以下步骤：控制靠近所述拉丝炉的第一区的温度使其具有在 1100-1300℃ 范围内的温度，控制拉丝炉更下游的第二区的温度，使其具有 1400-1500℃ 范围内的温度。

8. 如权利要求 4 所述的制造光纤的方法，该方法还包括如下步骤：形成一条供光纤在所述拉丝步骤和所述热处理步骤之间传送的连续的封闭式通道，以

使得所述光纤不与空气接触。

9. 如权利要求 1 所述的制造光纤的方法, 该方法还包括如下步骤: 在所述热处理步骤过程中, 使流量为 10-50 升/分钟的惰性气体流经所述加热的处理区。

10. 如权利要求 1 所述的制造光纤的方法, 该方法还包括如下步骤: 使光纤进入所述处理区时的所述光纤进入表面温度在 1200-1700℃ 的范围内。

11. 如权利要求 1 所述的制造光纤的方法, 该方法还包括如下步骤: 使光纤进入所述处理区时的所述光纤进入表面温度在 1550-1700℃ 的范围内。

12. 如权利要求 1 所述的制造光纤的方法, 该方法还包括如下步骤: 使所述光纤的光纤进入表面温度大于 1600℃。

13. 如权利要求 1 所述的制造光纤的方法, 该方法还包括如下步骤: 在所述处理区的出口处使所述光纤离开表面温度在 1250-1450℃ 的范围内。

14. 如权利要求 13 所述的制造光纤的方法, 其特征在于所述光纤离开表面温度在 1325-1425℃ 的范围内。

15. 如权利要求 1 所述的制造光纤的方法, 该方法还包括如下步骤:
使光纤进入所述处理区时的所述光纤进入表面温度在 1550-1700℃ 的范围内,
使光纤离开所述处理区时的所述光纤离开表面温度在 1325-1425℃ 的范围内。

16. 如权利要求 1 所述的制造光纤的方法, 其特征在于所述平均冷却速率大于 2500℃/s 但小于 3500℃/s。

17. 如权利要求 1 所述的制造光纤的方法, 其特征在于所述总停留时间为大于 0.07 秒但小于 0.15 秒。

18. 如权利要求 1 所述的制造光纤的方法, 其特征在于所述总停留时间为大于 0.07 秒但小于 0.10 秒。

19. 如权利要求 1 所述的制造光纤的方法, 其特征在于所述拉丝速度为大于或等于 15m/s。

20. 如权利要求 19 所述的制造光纤的方法, 其特征在于所述拉丝速度为大于或等于 20m/s。

21. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于在 25 克至 200 克范围内的拉丝张力下拉丝所述光纤。

22. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于所述拉丝张力在 60 克至 170 克的范围内。

23. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于所述加热的玻璃源是光纤预制棒, 它包括锗掺杂的中央纤芯区和大致纯的二氧化硅包层区, 所述拉丝速度为大于或等于 20m/s, 光纤在所述加热的处理区内的所述平均冷却速率为大于 2000°C/s 但小于 3500°C/s。

24. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于所述加热的玻璃源是光纤预制棒, 它包括氧化锗掺杂的中央纤芯区和大致纯的二氧化硅包层区, 所述拉丝速度为大于或等于 15m/s, 所述热处理步骤包括使光纤进入所述加热的处理区时的光纤进入表面温度为大于 1600°C, 使光纤离开所述加热的处理区时的光纤离开表面温度为大于 1350°C, 所述加热的处理区内光纤的平均冷却速率为大于 2000°C/s 但小于 3500°C/s, 所述加热的处理区的温度为大于 1300°C。

25. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于所述加热的玻璃源是光纤预制棒, 它包括氧化锗掺杂的中央纤芯区和大致纯的二氧化硅包层区, 所述热处理步骤包括使光纤进入所述加热的处理区时的光纤进入表面温度在 1500-1700°C 之间, 使光纤离开所述加热的处理区时的光纤离开表面温度为在 1350-1400°C 之间, 所述加热的处理区内光纤的平均冷却速率为大于 2000°C/s 但小于 3500°C/s。

制造光纤的方法

相关申请

本申请是国际申请号为 PCT/US03/13047，国家申请号为 03815052.2 的专利申请的分案申请。

涉及国际申请号为 PCT/US03/13047 的发明是 2002 年 4 月 30 日提交的美 国专利申请 10/136,937 的部分继续申请，要求其优先权和利益。

发明领域

本发明涉及用于形成光纤的方法和设备，更具体是涉及用来形成具有改进性能的光纤的方法和设备。

发明背景

衰减和对热老化的敏感性是光纤的关键特性，尤其是对于高数据速率光纤而言。在制备光纤时，需要或者希望能将光纤的预定操作窗口中的衰减损失降至最低。光纤在制成之后由于被称作“热老化”的现象会使光纤中的衰减增加。热老化往往会使一些光纤由于光纤环境中的温度波动而在形成之后随时间衰减增加。一般来说，在光谱衰减曲线中，热老化带来的衰减变化在约 1200 纳米(nm)处就较为明显，并且递增直至约 1700nm 处。此外，衰减可能是瑞利散射损失的结果。因此，希望有改进的方法能减少由热老化和瑞利散射造成的光纤衰减。

发明概述

本发明的实施方案提供了形成光纤(例如掺杂光纤)的方法和设备。因为光纤是由光纤预制棒以一定拉丝速度和拉丝张力拉丝而成的，所以不希望有的缺陷(如热老化缺陷)会被引入光纤。同样，某些拉丝条件会产生更多的微观密度变化，这会导致瑞利散射增加。为了防止这些缺陷，按照本发明对光纤进行处理，即将光纤保持在热处理温度范围内一段处理时间。具体地说，较好

是使经拉丝的光纤经历特定的冷却速率。通过放慢的冷却可以最好地使热老化现象最小化，优选是同时将光纤保持在一定的处理张力范围内。同样，通过使光纤经历特定的冷却速率能减少瑞利反向散射现象。因此，本发明能有利地降低光纤在形成之后随时间衰减增加的趋势，即减少所谓的热老化效应。此外，本发明还减少了造成瑞利散射的微小密度变化，从而降低了光纤的衰减。

玻璃预制棒和由此形成的光纤可以用选自锗、氟、磷、氯或其组合的掺杂剂进行掺杂。具体地说，本发明的发明人发现，一些光纤的折射率分布更易受热老化的影响，例如掺杂剂含量高的光纤被发现非常容易受到热老化的影响。所有的折射率分布显示了瑞利散射造成的衰减。

在各个实施方案中，光纤从拉丝炉装置中被拉丝而成。在一个实施方案中，经拉丝光纤经过处理炉，处理炉的位置较佳地位于基本上紧接在所述拉丝炉的下游。更好是该处理炉直接与所述拉丝炉末端的光纤出口位置相连，其间最好形成密封。这能尽量减少不希望有的空气进入拉丝炉。

在另外的实施方案中，光纤从拉丝炉中拉出，使得经拉丝的光纤最初被第一气体所包围。可以将该经拉丝光纤送过一个无源马弗炉(passive muffle)(没有有源的加热元件)的通道或室来进行处理。所述通道或室优选含有第二气体，该第二气体比第一气体的导热性更低。优选是，气体被混合并从无源马弗炉的末端排出。

根据本发明的一个实施方案，控制光纤在含有第二气体的室内的冷却速率，从而使引入的热老化效应最小。据发现，在约 1100℃至约 1500℃的温度范围内，在 840℃/s 和 4000℃/s 之间的冷却速率能较好地控制光纤的热老化。

本发明的其它实施方案提供了在光纤拉丝之后对其进行处理的方法。具体地说，在光纤的形成条件使其衰减倾向于在形成光纤之后随时间增加的情况下，所述处理有利地减少了热老化效应。光纤如下进行处理：将光纤保持在一处理温度范围内一段处理时间，同时将光纤保持在一处理张力范围内，以减少该光纤在其形成后衰减随时间增加的趋势。

本发明的其它实施方案提供了用于制造热老化缺陷减少了的光纤的设备。在一个实施方案中，拉丝炉中装有经掺杂的玻璃预制棒，由该预制棒可以拉丝出光纤，拉丝速率和拉丝张力足以将热老化缺陷引入光纤。在所述拉丝炉下游放置了一个处理装置。该处理装置用来如下处理光纤：将光纤保持

在一处理温度范围内一段处理时间，同时将光纤保持在一处理张力范围内，以减少该光纤在其形成后衰减随时间增加的趋势。

本发明的其它实施方案提供了用于形成和处理光纤的设备。拉丝炉包括出口壁(exit wall)，适合于形成光纤，光纤由出口壁从拉丝炉中出来。处理炉固定在所述拉丝炉的外壳上邻近出口壁的位置，其中有一条通道。处理炉的结构和位置能使得光纤从拉丝炉中出来就进入通道。优选是，该通道和光纤送过的所有通道均具有 12mm 的最小尺寸，以使得坠头(gob)经过通道掉落。

本发明的其它实施方案提供了形成和处理光纤的设备。拉丝炉包括出口壁，适合于形成光纤，光纤从拉丝炉和出口壁出来。拉丝炉含有第一气体，例如氦气。无源马弗炉(参见以下定义)放置得邻近拉丝炉，其间有一条通道。该通道含有比第一气体导热性更低的第二气体，如氩气。无源马弗炉与出口壁连接，使得环境气体不能从两者间的连接处进入拉丝炉和无源马弗炉。第一气体和第二气体在无源马弗炉中混合，并从其末端排出。

本发明的其它实施方案提供了一种高速制造光纤的方法，该方法包括以下步骤：由加热的玻璃源(如光纤预制棒)拉丝光纤，拉丝速率大于或等于 10m/s，接着对光纤进行热处理，即将光纤保持在一加热的处理区，停留时间大于 0.07 秒但小于 0.25 秒，同时使光纤在所述加热的处理区中经历大于 1200 °C/s 但小于 5000 °C/s 的平均冷却速率。

本发明的其它实施方案提供了一种制造光纤的方法，该方法包括以下步骤：提供一种加热的玻璃预制棒，该预制棒具有氧化锗掺杂的纤芯区和基本上纯的二氧化硅包层区，由加热的玻璃预制棒拉丝光纤，拉丝速率大于或等于 15m/s，拉丝张力在 25-200 克的范围内，在一加热的处理区中对光纤进行热处理，该处理区具有含流量大于 10 升/分钟的氦气的气氛，光纤进入该加热的处理区的进入温度大于 1600 °C 或是 1500 °C—1700 °C 之间，光纤从该加热的处理区中出来的离开温度在 1300 °C 至 1400 °C 之间，优选的是 1350 °C 至 1400 °C，或是大于 1350 °C，光纤保持在该加热的处理区中一段大于 0.07 秒但小于 0.15 秒的总停留时间，同时控制光纤在该加热的处理区中的平均冷却速率为大于 2000 °C/s 但小于 3500 °C/s。

本领域普通技术人员在阅读下文的较佳实施方案的详细说明和附图之后能认识到本发明的其它特点和优点，但详细说明只是用来解释本发明的。

附图的简要说明

附图构成说明书的一部分，用来与描述一起说明本发明的实施方案，用来解释本发明的原理。

图 1 是说明本发明实施方案的光纤制造方法的方框图。

图 2 是本发明实施方案的光纤形成设备的剖面侧视示意图。

图 3 是本发明其它实施方案的光纤形成设备的剖面侧视示意图。

图 4 是本发明其它实施方案的光纤形成设备的剖面侧视示意图。

图 5-7 是根据本发明形成的数根光纤的 $\Delta(\%)$ 与半径(μm)的折射率曲线图。

图 8 是根据本发明实施方案的光纤拉丝和处理方法的方框图。

图 9 是可以根据本发明实施方案进行热处理的光纤的折射率分布的图表说明。

图 10 是本发明实施方案的方法的冷却速率分布的图表说明。

图 11 是本发明实施方案的光纤拉丝和热处理设备的剖面侧视示意图。

图 12 是本发明实施方案的另一种光纤拉丝和热处理设备的剖面侧视示意图。

较佳实施方案的详细说明

下文将参考附图更全面地描述本发明，这些附图中示出了本发明的较佳实施方案。但是，本发明可以有許多不同形式的实施方案，不应认为本发明受限于说明书列出的实施方案。相反，提供这些实施方案是使得对于本发明的揭示是全面完整的，使本领域技术人员能完全理解本发明的范围。所有附图中类似的标记用来表示类似的元件。在附图中，为了清楚起见，可能夸大了层、元件或区域。

本发明包括处理经拉丝光纤的方法和用于形成和处理经拉丝光纤的方法，这些方法能减少经处理光纤的热老化敏感性(缺陷)。本文所用的“热老化”是指光纤中导致光纤在最初形成之后光纤内衰减随时间增加的缺陷。从下文说明将更好地理解，本发明的方法和设备能够使得以较高速度和高拉丝张力形成的经拉丝和掺杂的玻璃光纤与以所述速度和拉丝张力拉丝但不进行本发明处理步骤得到的类似光纤相比，热老化敏感性降低了。

参见图 1，根据本发明的方法实施方案，例如由合适的经掺杂玻璃坯体或预制棒拉丝出光纤，选定的拉丝速度 S_D 和选定的拉丝张力 F_D 足以将热老化缺

陷引入经拉丝的光纤(方框 10)。经拉丝光纤的纤芯和包层(如果有的话)之一或两者可以掺杂。一般来说,纤芯是掺杂的,其中可包括多个分层,即包括分层纤芯结构。图 5-7 说明了数种光纤的折射率分布图的 $\Delta(\%)$ 与半径(μm)的关系,这些分布图看来对热老化敏感,并受益于本发明的形成和处理。拉丝期间,拉丝速度 S_D 优选是保持在约 2m/s 至 35m/s 的范围内。更好是拉丝速度 S_D 在约 6m/s 至 25m/s 之间。对于大多数色散补偿(DC)光纤而言,大于约 6m/s 的拉丝速度 S_D 会引入一些缺陷,尽管例如对于一些纤维,低至 2m/s 或以下的拉丝速度也会产生缺陷。拉丝张力 F_D 优选在约 25 克至 200 克的范围内,更好是在约 90 克至 200 克的范围内。据发现,经掺杂光纤(如 DC 光纤)以大于约 6m/s 的拉丝速度被拉伸并保持拉丝张力大于 90 克时,通常会引入热老化。

应该注意到,在一些情况下,可以通过用不同的拉丝条件操作来减少热老化效应,例如以较低的拉丝速度或以较高的拉丝张力进行操作。然而,这些条件中有一些并不适宜,或是由于经济方面的原因,或是因为所得光纤特性不好。本发明能更经济地制造光纤,并能得到更好的特性,如强度、衰减和均匀性,同时还能制得与未经处理的光纤相比由热老化造成的衰减增加更少的光纤。

如图 6 和 7 所示,DC 光纤 14 通常具有纤芯,纤芯包括中央纤芯 15、凹陷(moat)16 和环(ring)17。中央纤芯 15 和环 17 通常包括氧化锗掺杂,而凹陷通常包括氟掺杂。对于所述 DC 光纤 14 而言,纤芯 15 的 Δ 值通常大于 0.8%,优选范围是约 0.8-3.0%,而环 17 的 Δ 值通常大于 0.2%,优选范围是约 0.2-1.0%。凹陷 16 的 Δ 值通常小于-0.2%,优选范围约为-0.2%至-1.0%。其它光纤类型,如图 5 所示光纤 18 也对热老化敏感,可包括纤芯 15 和环 17。

以上述方式引入的热老化缺陷可以通过下述热老化测试方法来检测。首先,将经拉丝光纤冷却至约 20℃,然后对光纤进行热循环:将经拉丝光纤保持于 200℃ 20 小时然后再将其冷却至 20℃。然后,测量经拉丝光纤在感兴趣波长范围(通常为 1000nm-1700nm)的衰减,测量例如使用光具座进行,如得自 Photon Kinetics 的 PK 2500 光谱光具座(spectral bench)或者光时域反射计(OTDR)。经过拉丝(方框 10)和上述方式测量的光纤所显示的该经热循环的光纤在感兴趣波长的衰减,与在热循环之前的经冷却光纤(未经热老化的光纤)在 1550nm 测得的衰减相比,至少增加 0.03dB/km 至 0.25dB/km 或更多。由此可以认识到,非常需要按照本发明处理光纤以降低热老化效应,从而使不希望

有的衰减增加达到最小。

为了防止上述热老化缺陷，将经拉丝光纤的温度 T_T 保持在选定的温度范围 T_1 至 T_2 内一段选定的时间 t_T ，优选是保持在选定的张力 F_T 下(方框 12)。通常，拉丝张力 F_D 与处理张力 F_T 相同。这样，在处理步骤之前存在于经拉丝光纤内的热老化缺陷能够被显著减少，或者甚至可能有效地被消除。

通过下文更详细的说明可以更好地理解上述方法。执行上述步骤的合适和优选的材料和参数列于下文。此外，下文还说明了用于执行上述方法和其它方法的本发明设备。

参见图 2，该图示出了本发明实施方案的光纤形成设备 100。该设备 100 通常包括拉丝炉 120、处理炉 150 和张力度(tensioning station)170，图中的张力度是一个牵引组件，用来向经拉丝光纤施加张力。设备 100 可以用来例如由经掺杂玻璃预制棒 102 形成经处理的光纤 110A。更具体地说，拉丝炉 120 可用来形成经拉丝光纤束(drawn optical fiber strand)110 (下文被称作“经拉丝光纤 110”)，此后可使用处理炉 150 来处理经拉丝光纤 110，形成经处理的光纤束 110A(下文称作“经处理的光纤 110A”)。经处理的光纤 110A 经过处理以使热老化效应最小。张力度 170 用来控制并保持光纤 110、110A 所需张力。还可以包括附加的常规加工步骤，例如非接触式直径测量装置、进一步的光纤冷却装置、用来施涂和固化一次光纤涂层和二次光纤涂层的光纤涂覆和固化装置、卷绕装置。这些附加的加工步骤是常规的，为了清楚起见图中未示出。此外，在处理炉的底部可以使用隔板或移门结构，以使进入该处理炉的空气量最少。

玻璃预制棒 102 优选由经掺杂的二氧化硅玻璃形成。所形成的该预制棒 102 可以使得经拉丝光纤的纤芯或包层(如果有的话)之一掺杂，或者使得经拉丝光纤的纤芯和包层都掺杂。二氧化硅玻璃可以用例如锗、氟、磷或氯中的一种或多种或者它们的组合进行掺杂。还可使用其它合适的掺杂剂。如图 5-7 所示，本发明的发明人发现，经锗掺杂的光纤在大多数制造条件下均显示热老化。用于形成预制棒 102 的方法和设备是本领域技术人员熟知和容易理解的。这些方法包括 IVD、VAD、MCVD、OVD、PCVD 等。

拉丝炉 120 优选包括外壳 122，该外壳包围预制棒并具有固定在其下端的凸缘 123，该凸缘 123 用作拉丝炉 120 的出口壁。该凸缘 123 中具有轴向开口 124，光纤 110 和先前掉落的玻璃坠头可经过该开口。环形套筒状接受器

(susceptor)126(例如可以由石墨形成)沿拉丝炉 120 延伸,其中具有通道 130。该通道 130 包括上段和下段,上段用来接受和保持光纤预制棒 102,当玻璃熔融并从预制棒 102 上拉出丝来时经拉丝光纤 110 经过下段。在拉丝最初形成的坠头也经过这一段。通道 130 的下段与开口 124 相通。优选的是,将中空的出口锥体 139 放置在开口 124 之上。环形绝缘体 132 和感应线圈 136 环绕着该接受器 126。

一种合适的惰性成纤用气体(inert forming gas)FG (最好是氦气)经过合适的流体入口 138 被引入到通道 130 中,气体压力约为 1 大气压,气体向下流动并经开口 124 流出拉丝炉 120。如图所示和上文描述的拉丝炉 120 仅仅是合适的拉丝炉的一个例子,本领域技术人员知道有其它设计和结构的拉丝炉,例如可使用其它类型的加热机构、接受器和绝缘体等。

再参见图 2,相对的流体通道 148 沿凸缘 123 径向延伸,终止于凸缘上表面 123A 处的开口。通道 148 还垂直延伸穿过凸缘 123 并终止于锥体 139 的外周边附近。还将成纤用气体 FG 送过通道 148 的开口,该气体向上流动到锥体 139 附近,再向下经由锥体 139 的中央开口流出。成纤用气体 FG 可以例如是氦气(He)、氮气(N₂)、氩气(Ar)或任何其它合适的惰性气体。成纤用气体 FG 最好是氦气。

处理炉 150 放置在凸缘 123 下方,优选是与凸缘 123 互相连接。处理炉 150 包括其中具有一个或多个环形加热元件 168 的加热单元 160。加热元件可以例如是电阻或感应加热线圈。处理炉的上端 152 和下端 154 分别具有开口 152A 和 154A。沿拉丝通道的开口应足够大以使得拉丝开始时玻璃坠头能够经由该通道掉落。上端 152、下端 154 和套筒 146 用作处理炉 150 的外壳。然而,可以理解,还可使用其它的外壳结构和元件。处理炉 150 优选通过合适装置(如紧固件)固定在拉丝炉 120 的凸缘 123 上。

一种大致圆柱形的石英卷盘 162 放置在加热单元 160 中。该卷盘 162 具有通道 162A 和位于通道相对两端的一对石英凸缘 162B。凸缘 162B 可以例如是熔焊在石英管两端以形成卷盘 162。在凸缘 152 的下表面和上凸缘 162B 之间放入第一石墨垫圈(gasket)164。在下凸缘 154 和下凸缘 162B 之间放入第二石墨垫圈 164。

具有送气通道 166A 的煤气炉(gas rings)166 环绕石墨垫圈 164,它具有小孔适合于将吹扫用气体 PG 导入至石墨垫圈 164。该吹扫用气体 PG 用来减少

或防止石墨垫圈 164 暴露于空气,可以例如是氦气(He)、氩气(Ar)、氮气(N₂)或任何其它合适的惰性气体。

吹扫用气体部件 159 固定于凸缘 154 的下表面。吹扫用气体 PG 被泵入吹扫管通道 159A,用来防止空气从下方进入通道 162A。

石英管 162 的通道 162A 的直径尺寸 D 优选是在其长度方向的所有位置均大于 12mm,较好是在 12-80mm 的范围内,更好是在 45-80mm 的范围内,以使得拉丝开始时形成的玻璃坠头易于经该通道掉落。处理炉 150 在凸缘 152 上表面和凸缘 154 下表面之间延伸的处理区的长度 L 优选是在约 0.2-3m 之间,更好是在 0.5-1.0m 之间。优选长度 L 取决于光纤 110 的拉丝速度,上述优选范围是对于约 2-35m/s(更好是 6-25m/s)的拉丝速度而言的。

张力段 170 可以是用来控制经拉丝光纤 110 中张力的任何合适装置。较好是,张力装置 170 包括一个微处理器,它能连续接收从一个或多个光纤张力和/或直径传感器(图中未示出)输入的信号,并用来施加所需的光纤张力。在一个优选的实施方案中,指令张力基于将直径控制到等于存储器中存储的设定直径。

设备 100 如下用来制造经处理的光纤 110A。炉感应线圈 136 工作以将光纤预制棒 102 的端部 102A 加热至预定拉丝温度 T_D 。拉丝温度 T_D 优选在约 1800-2200℃的范围内。更好是,拉丝温度 T_D 在约 1900-2050℃的范围内。将预制棒端部 102A 保持在预定拉丝温度 T_D ,使得从端部 102A 沿拉丝方向 V(优选是垂直向下)连续地拉出经拉丝光纤 110。用张力装置 170 或其它合适的施加张力装置将光纤 110 保持于如上所述计算得到的拉丝张力 F_D ,以使得在预定公差范围内满足光纤的设定直径(通常为 125 μ m)。成纤用气体 FG(如氦气)从上入口 138 泵入,经过通道 130、124、152A、162A、154A,从吹扫管通道 159A 排出。

这样,由预制棒 102 以选定的拉丝速度 S_D 如上所述拉出经拉丝光纤 110。用来制造光纤的选定拉丝温度 T_D 和拉丝张力 F_D 导致光纤 110 具有不希望有的热老化缺陷。也就是说,经拉丝光纤 110 会显示热老化敏感性,这是以所需速度 S_D 对光纤 110 进行拉丝的拉丝温度 T_D 和拉丝张力 F_D 带来的结果。

因为处理炉 150 基本上紧邻着拉丝炉 120 的开口 124,所以经拉丝光纤 110 从拉丝炉 120 中出来时不会经历较冷的环境空气的骤冷。此外还减少了氧气进入拉丝炉的可能性,从而使石墨接受器 126 可能发生的降解最小化。在本

发明中,经拉丝光纤 110 经过通道 124,基本上立刻由加热单元 160 加热。加热单元 160 将光纤 110 的温度保持在处理温度 T_T ,该温度在选定的 T_1 至 T_2 的温度范围内。下限温度 T_1 优选在约 1100-1400℃的范围内,上限温度 T_2 优选在约 1200-1800℃的范围内。更好是,下限温度 T_1 在约 1200-1350℃的范围内,上限温度 T_2 在约 1300-1450℃的范围内。此外,当光纤 110 经过通道 162A 时,将光纤 110 保持在选定的处理张力 F_T 。优选是,处理张力 F_T 在约 25 克至 200 克的范围内,更好是在约 90 克至 170 克的范围内。选择处理区的长度 L 以使得经拉丝光纤 110 被保持在选定的温度范围 T_1 - T_2 一段选定的停留处理时间 t_T 。经处理光纤 110A 经过底部开口 154A 被送出处理炉 150,优选是继续向下到其它加工段(附加冷却、测量、涂覆等)。

共同选择上述处理温度 T_T 、处理张力 F_T 和停留时间 t_T 以减少或消除光纤 110 中的热老化缺陷或敏感性。因此,如此形成的经处理光纤 110A 与未经上述方法恰当处理(即使用图 1 方框 12 步骤)但其它方面以相同方式形成的光纤 110 相比,热老化缺陷或敏感性更少。因此,上述方法和设备能获得较高的光纤拉丝速度,其热老化缺陷与以相同速度拉丝得到的未经处理光纤相比热老化缺陷减少了。

优选是,相对配置和固定拉丝炉 120 和处理炉 150 并提供气体,以使得从通道 130 至开口 159A 是一条气密通道。

参见图 3,该图示出了本发明其它实施方案的光纤形成设备 200。设备 200 包括拉丝炉 220,对应于拉丝炉 120。设备 200 包括无源处理组件 250。组件 250 被称作“无源”是因为该组件在其任何部分都不包括对应于加热单元 160 的加热装置。换言之,光纤是在不借助有源加热单元的情况下以受控制的速率冷却的。

设备 200 包括拉丝炉 220 和张力度段 270,分别对应于拉丝炉 120 和张力度段 170。优选是,拉丝炉 220 是具有石墨接受器的类型。无源处理组件 250 包括具有上凸缘 254 的管式马弗炉 252。马弗炉 252 通过螺栓或其它紧固件(为了清楚起见图中未示出)直接固定在拉丝炉 220 的下端壁 223 上,所述螺栓或其它紧固件延伸穿过凸缘 254 中的孔并与端壁 223 咬合。马弗炉 252 优选是由金属形成,金属例如是不锈钢或铝。

马弗炉 252 具有位于第一端的上部开口 256、相反的位于第二端的下部开口 258 和延伸于两个开口之间的通道 252A。优选是,通道 252A 的直径 E 大

致均匀且大于 12mm，更好是在约 12mm 至 80mm 之间，最好是在 45-80mm 之间。上部开口 256 与拉丝炉 220 的下开口 224 相通。在马弗炉 252 的侧壁中形成多个轴向间隔的供料口 259，沿通道 252A 的长度方向与其相通。

处理用气流系统 260 在操作上和流动上与马弗炉 252 相连。处理用气流系统 260 包括处理用气源 261，该气源通过多支管或管道 262 在气流上和操作上与每个供料口 259 相连。处理用气源站 261 包括选定的处理用气体 TG 源，以及泵或类似装置，用来将处理用气体 TG 加压至足以使其流经管道 262 和供料口 259 进入通道 252A。处理用气源站 261 可任选地包括加热单元来加热处理用气体 TG。然而，优选以 20℃ 提供处理用气体。

设备 200 可如下用来形成经处理的光纤 210A。使用拉丝炉 220 和张力的装置 270，由对应于预制棒 102 的预制棒 202 以设备 100 中所述的方式拉丝出光纤 210(对应于光纤 110)，拉丝温度和拉丝张力足以引入热老化缺陷。在对光纤 110 进行拉丝时，通过与图 2 所示相同的入口引入成纤用气体 FG。成纤用气体流经围绕预制棒 202 和光纤 210 的通道 230，经过拉丝炉端壁 223 中的开口 224，通过开口 256 进入通道 252A 的第一端。

经拉丝光纤 210 一从拉丝炉 220 中出来就立即进入马弗炉 252 的通道 252A。当光纤 210 经过通道 252A 时，将处理用气体 TG 从处理用气源 261 中泵出，经过至少两个轴向间隔的供料口 259(如图 3 中箭头所示)进入通道 252A。处理用气体在不同的阶段流入通道 252A 并与成纤用气体 FG 混合。优选是，处理用气体 TG 于 25℃ 的导热系数 k 小于约 $120 \times 10^{-6} \text{ cal}/(\text{sec})(\text{cm})^2(^\circ\text{C}/\text{cm})$ ，更好是小于约 $65 \times 10^{-6} \text{ cal}/(\text{sec})(\text{cm})^2(^\circ\text{C}/\text{cm})$ 。处理用气体 TG 和成纤用气体 FG 的混合物流经通道 252A，从第二端出口 258 排出。

处理用气体 TG 的导热性低于成纤用气体 FG。优选是处理用气体 TG 的导热系数低于成纤用气体 FG 导热系数的 40%，更好是低于成纤用气体 FG 导热系数的 20%。处理用气体 TG 优选氮气或氩气，更好是氩气。成纤用气体 FG 优选氦气。

当经拉丝光纤 210 被拉过通道 252A 时，经拉丝光纤 210 被保持在选定的处理张力 F_T ，光纤 210 在通道 252A 中的处理温度 T_T 保持在选定的温度范围 T_1 - T_2 一段选定的停留时间 t_T ，正如上文关于设备 100 所述。以上文关于设备 100 所述的方式，共同选择所述选定的处理张力 F_T 、温度范围 T_1 - T_2 和停留时间 t_T 以减少或消除光纤 210 中的热老化缺陷，从而得到对应于经处理光纤 110A

的经处理光纤 210A。在设备 200 的情况下,选择无源处理装置 250 的通道 252A 的长度 M, 以根据光纤 210 的拉丝速度设置所需的停留时间 t_T 。

处理用气体 TG 的导热系数较低,减缓了从经拉丝光纤 210 向外的传热,即放慢了经拉丝光纤 210 的冷却,这样光纤 210 在通道 252A 中保持在选定的温度范围 T_1 - T_2 。可以恰当地选择处理用气体 TG 的流量、湍流和温度,以提供所需的冷却速率。根据本发明的该实施方案,处理炉 250 中所需的冷却速率在 1200-1500℃ 的温度范围内是 2500-3500℃/秒。

参见图 4,该图示出了本发明其它实施方案的光纤形成设备 300。该设备 300 包括具有石墨接受器类型的拉丝炉 320。该设备 300 除了下述不同之外均对应于设备 200,并以与设备 200 相同的方式使用,除了下述不同。

用具有连续通道 349A 的多片式马弗炉组件 349 代替马弗炉 250。马弗炉组件 349 包括一个环状马弗炉上段 351,该上段包括一凸缘 354 用来将马弗炉组件 349 固定在拉丝炉 320 的出口壁 323 上。环状马弗炉第二段 353 固定在马弗炉段 351 的下端,具有通道 353A。在马弗炉 353 的侧面形成出口 357 并与通道 353A 相通。环状马弗炉第三段 352 固定在马弗炉段 353 的下端,具有通道 352A。环状马弗炉第四段 355 固定在马弗炉段 352 下端,具有通道 355A。在马弗炉 355 中形成有进料口 359 并与通道 355A 相通。通道 349A 的直径 F 优选是大致均匀,且优选大于 12mm,更好是在约 12-80mm 的范围内,最好是在 45-80mm 的范围内,以沿其长度 N 基本上恒定的直径为宜。马弗炉组件 349 的长度 N 优选在约 0.2m 至 1.0m 之间。

此外,在设备 300 中,采用处理用气流系统 360 代替处理用气流装置 260。气流系统 360 包括处理用气源 361,对应于处理用气源站 261。处理用气源站 361 通过管道 362 与进料口 359 不固定地相连(fluidly connected)。气流系统 360 还包括泵 364,它通过管道 363 与出口 357 不固定地相连。泵 364 优选文丘里泵,它具有从其入口 365A(如图所示)输入的压缩空气源。

在使用中,处理用气体 TG 从处理用气源 361 经由管道 362 和进料口 359 引入通道 355A。泵 364 提供足够的真空,结果将至少一部分处理用气体 TG 抽提上来,经过通道 352A 和 353A,经过出口 357 和管道 363,经由出口 365B 排出。同时,泵 364 产生的真空还将成纤用气体 FG 从拉丝炉 320 抽提过来,经过通道 353A、出口 357 和管道 363,经由泵出口 365B 排出。这是有利的,因为它防止了两种气体在通道 349A 下端发生混合。

实施例 1

使用拉丝炉，由经掺杂预制棒以 14 米/秒(m/s)的速率和 150 克的张力拉丝得到负色散的氧化锗掺杂光纤，该光纤具有如图 5 所示的包括纤芯和环的分布。然后，将光纤冷却至 20℃，再进行如上所述的热老化试验。试验之后，对未经处理的光纤测量其在 1550nm 的衰减增加，为 0.0830dB/km。

用上文所述相同的方式由相同的预制棒拉丝形成第二光纤。该第二光纤一从拉丝炉中出来就立即送入本发明图 4 所示的处理设备。选择处理炉的长度和工艺参数以使得第二光纤的温度保持于所需温度一段所需的时间。具体地说，通道长度 M 约为 0.615m。这样，光纤保持在约 1700℃至约 1525℃范围内的温度一段约 0.044 秒的停留时间，同时光纤中的张力保持在 150 克。成纤用气体 FG 为氦气，处理用气体 TG 为 23℃的氩气。此后，将光纤冷却至 20℃，然后进行如上所述相同的热老化试验。经处理光纤在 1550nm 处测得的衰减仅增加了 0.027dB/km。因此，对于图 5 所示的这类光纤而言，经过本发明额外处理步骤的光纤的热老化能降低 67%。

实施例 2

使用拉丝炉，由预制棒以 14 米/秒(m/s)的速率和 150 克的张力拉丝得到负色散的氧化锗和氟掺杂光纤，该光纤具有如图 6 所示的包括纤芯、凹陷和环的分布。然后，将光纤冷却至 20℃，再进行如上所述的热老化试验。试验表明，在 200℃加热 20 小时之后，光纤在 1550nm 处测得的衰减增加为 0.285dB/km。

用上文所述相同的方式由相同的预制棒拉丝形成第二光纤。该第二光纤一从拉丝炉中出来就立即送入本发明图 4 所示的处理设备进行处理。选择处理炉的长度和工艺参数以使得第二光纤的温度保持在与实施例 1 相同的条件下。此后，将光纤冷却至 20℃，然后进行如上所述相同的热老化试验。经处理光纤在 1550nm 处测得的衰减增加仅约为 0.033dB/km。由此可见，对于这一类具有正△纤芯、负△凹陷和正△环的色散补偿光纤而言，经过额外处理步骤的光纤的热老化剧烈降低(88%)。以上两个实施例采用的冷却速率约为 3980℃/s。

实施例 3

使用拉丝炉，由预制棒以 14 米/秒(m/s)的速率和 150 克的张力拉丝得到氧化锗和氟掺杂的二氧化硅玻璃光纤，该光纤具有如图 5 所示的负色散及色散斜率和分布。拉丝炉中使用氦气作为成纤用气体。此后，将光纤冷却至 20℃，然后进行热老化试验：将光纤在 200℃保持 20 小时。结束后，将光纤再冷却至 20℃，在 1550nm 测得的光纤中衰减增加为 0.420dB/km。

用上文所述相同的方式由相同的光纤拉丝形成第二光纤。该第二光纤一从拉丝炉中出来就立即送入本发明图 2 所示的加热处理设备。马弗炉的长度为 0.4m，内径为 60mm，选择温度以使得第二光纤的温度保持在约 1700℃至约 1525℃范围内一段约 0.028 秒的停留时间，同时光纤中的张力保持在 150 克。对第二光纤进行如上的热老化试验，在 1550nm 测得的光纤中的衰减增加为 0.0015dB/km。因此，本发明得到热老化下降 96%。

表 1 示出了其它实施例。所列的是实施例号(Ex.)、经过热老化减少处理(经处理)和未经热老化减少处理(未经处理)的衰减变化、经处理的热老化降低%(降低%)、被处理光纤的光纤分布(分布)、被处理光纤中存在的掺杂剂(掺杂剂)、所用的拉丝张力(张力)、所用的拉丝速度(拉丝速度)、所用设备(设备)，以及设备是否包括加热器(加热器)。

表 1 示出了各个实施例的结果。

Ex	气体	未经处理 dB/km	经处理 dB/km	降低 %	分布	掺杂剂	张力 克	拉丝速度 m/s	设备	加热器
1	Ar	0.083	0.027	67%	图 5	Ge	150	14	图 4	否
2	Ar	0.285	0.033	88%	图 6	Ge/F	150	14	图 4	否
3	He	0.420	0.0015	96%	图 7	Ge/F	150	14	图 2	是
4	He	0.032	0.0155	52%	图 5	Ge	150	14	图 2	是
5	He	0.191	0.0175	91%	图 6	Ge/F	150	14	图 2	是
6	He	0.560	0.050	91%	图 7	Ge/F	150	20	图 2	是
7	Ar	0.141	0.066	53%	图 5	Ge	150	20	图 3	否
8	Ar	0.135	0.054	60%	图 5	Ge	150	17.5	图 3	否
9	Ar	0.108	0.059	45%	图 5	Ge	150	15.0	图 3	否
10	Ar	0.082	0.052	36%	图 5	Ge	150	12.5	图 3	否

11	Ar	0.649	0.294	55%	图 6	Ge/F	90	15	图 4	否
12	Ar	0.458	0.101	78%	图 6	Ge/F	150	20	图 4	否

本发明另一个实施方案示于图 8-11, 参见这些附图进行说明。该实施方案提供了一种用于高速拉丝(拉丝速度大于或等于 10m/s)和热处理光纤的方法。图 11 最好地示出了该实施方案, 用光纤形成设备 400 高速制得经处理光纤。设备 400 总体包括拉丝炉 420 和拉丝炉下游的热处理炉 450, 热处理炉优选与拉丝炉机械连接。设备 400 可用来如下形成经处理的光纤 410A: 由加热的玻璃源 402(例如光纤预制棒)以高速拉丝, 然后使经拉丝光纤经历给定的温度分布变化(例如图 10 所示的时间-温度分布变化图), 以减少瑞利散射造成的光纤衰减。上述方法对于高速制造具有锗掺杂中央纤芯的光纤而言特别有效, 能减少瑞利散射损失从而降低衰减。具体地说, 该方法能很好地用来得到具有锗掺杂中央纤芯的光纤的低衰减, 即 1550nm 处的衰减小于或等于 0.187dB/km, 和/或 1310nm 处的衰减小于或等于 0.327。一种此类光纤例如是单模突变折射率型光纤, 如图 9 所示, 该光纤具有锗掺杂的中央纤芯 414 和包围纤芯并与其邻接的大致纯的二氧化硅包层 415。

更具体地说, 拉丝炉 420 可用来高速形成经拉丝光纤束 410 (下文被称作“经拉丝光纤 410”), 此后可使用处理炉 450 来热处理经高速拉丝形成的光纤 410, 以形成经处理的光纤束 410A(下文称作“经处理的光纤 410A”)。经处理的光纤 410A 经过热处理以较好地减少在工作波长范围内由瑞利反向散射造成的衰减, 例如在 1310nm 处的衰减小于或等于 0.327dB/km, 优选是在 1550nm 处的衰减小于或等于 0.187dB/km。

应该理解, 还可以包括附加的设备来进行热处理步骤之后的后道常规加工步骤。例如, 在热处理步骤之后可以用非接触式直径测量装置 404 来测量光纤的典型直径。此外, 光纤冷却装置 406 可用来将经处理光纤 410A 进一步冷却至足够低的温度(如低于约 100℃), 使聚合物保护涂层能够施涂到经处理光纤 410A 的外周边。还可提供用于施涂和固化一次聚合物涂层的光纤涂覆装置 408A 和固化装置 408B。此外, 额外的涂覆和固化设备可用来施涂和固化二次聚合物涂层(图中未示出)。张力装置 470 优选地在光纤涂覆之后向其施加所需的拉丝张力。最后, 卷盘卷绕装置 471 和往复式导向器(reciprocating guide)469 可用来将经热处理和涂覆的光纤卷绕在卷绕用卷盘 473(如运输用卷

盘或堆放用卷盘(a shipping or bulk spool))上。此外,处理炉 450 的底部可使用隔板或移门结构 472,以使从出口进入的空气量最少。

操作中,本发明实施方案的方法包括以下步骤:由加热的玻璃源(如光纤预制棒 402)拉丝成光纤 410,所述预制棒优选包括氧化锆掺杂的中央纤芯区和大致纯的二氧化硅包层区,对应于拉丝后形成的具有氧化锆掺杂的中央纤芯和大致纯的二氧化硅包层的光纤,拉丝速率大于或等于 10m/s;接着对光纤进行热处理,将光纤保持在加热的处理区 412 一段停留时间(优选为大于 0.07 秒但小于 0.25 秒),光纤 410 在即加热的处理区 412 中的平均冷却速率为大于 1200 °C/s 但小于 5000 °C/s,更好是大于 2000 °C/s 但小于 5000 °C/s,在有些实施方案中,平均冷却速率为大于 2000 °C/s 但小于 3500 °C/s。例如,当拉丝速度大于或等于 20m/s 时,平均冷却速率优选是大于 2000 °C/s 但小于 5000 °C/s。加热的处理区 412 中的平均冷却速率定义为光纤在入口处“A”的光纤表面温度(即光纤进入表面温度)减去光纤在出口处“B”的光纤表面温度(即光纤离开表面温度)的差除以光纤在处理区中的总停留时间得到的商。

本发明实施方案的方法特别适合用来降低光纤 410 (如图 9 所示的标准的突变折射率型单模光纤)由于瑞利散射造成的衰减。该方法特别适用于制造这样的光纤,它具有位于光纤中心线的含锆掺杂剂的中央纤芯 414 和包括大致纯的二氧化硅的包层 415(不含明显改变折射率的掺杂剂)。此处所用术语“中央纤芯”是指光纤在工作时大多数光线被限制在其中的部分,这部分位于光纤的中央部分,其折射率要高于最外层的玻璃包层部分。包层 415 是光纤 410 中包围中央纤芯并与其邻接的那部分,包层延伸至光纤玻璃部分的外径(至直径为约 125 微米处),其折射率低于中央纤芯 414。应该理解,加热的玻璃源预制棒 402 还包括纤芯区 414A 和包层区 415A(其部分剖面如图 11 所示),它们的物理比例和组成大致对应于由该预制棒得到的经拉丝光纤的中央纤芯 414 和包层 415。换言之,纤芯区 414A 至少掺杂锆,包层区 415A 由大致纯的二氧化硅形成。

参见图 10 和 11 进一步说明本发明实施方案的方法。图 10 示出了按照本发明形成经热处理的光纤 410A 的一个较佳的冷却分布图。优选是,在由经加热的玻璃源预制棒 402(具有加热至约 1800-2200 °C 的接棒(root)部分)拉丝之后,经拉丝光纤 410 在时间等于 0.0 秒时进入处理炉 450,以使光纤 410 在处理炉处理区 412 的入口位置处(标记为“A”)的光纤进入表面温度优选在 1700

℃的上限温度 411A 和 1200℃的下限温度 411B 之间；更好是在 1550-1700℃之间，在有些实施方案中大于 1600℃。然后，在处理区 412 中加热光纤 410 并缓慢冷却，光纤在处理区 412 中的总停留时间 t_r 应足够长，使得发生局部光纤退火(玻璃在原子尺度上放慢但不均衡的重排)。光纤在热处理区出口(标记为“B”)处的表面温度在 1450℃的上限温度 413A 和 1250℃的下限温度 413B 之间。此处按照本发明的退火降低了瑞利反向散射损失，从而使得经处理光纤 410A 与未经处理光纤相比，在感兴趣波长(如 1310nm 和 1550nm)处的衰减减少了。

如图 11 所示，拉丝炉 420 和处理炉 450 优选配置形成连续的封闭式通道，用于拉丝步骤和热处理步骤之间光纤的传送。例如，处理炉 450 可直接安装在拉丝炉 420 的下凸缘 420B 上，或者连接在连接件 420C(如图示管子)上。当光纤在拉丝炉 420 和处理炉 450 之间传送时，处于惰性气氛且不暴露于空气。这能有利地使与拉丝炉 420 的石墨马弗炉管 432 接触的空气最少，所述空气会导致石墨马弗炉降解。

如图 8 所示，在拉丝步骤 403 和热处理步骤 405 的过程中，优选含有惰性气体的气氛。惰性气体可以是氦气、氮气、氩气或者它们的混合物。较好是，在拉丝炉顶部的拉丝炉入口 420A 处提供惰性气体(优选氦气)。惰性气体沿着玻璃源预制棒 402 旁边流动，在拉丝炉下端与光纤 410 一起排出拉丝炉 420。然后，该气体与光纤一起流动(但通常以不同的速率)经过处理炉 450 的通道 413，经处理炉的下端(即位置“B”)排出。在热处理过程中惰性处理用气体(优选氦气)流经处理炉 415 的加热处理区 412 的通道 413 的流量较好是大于 10 升/分钟，最好是 10-50 升/分钟。

可任选地，拉丝炉 520 还可以在位置上与热处理炉 550 分开，即拉丝炉的出口端不直接连接在热处理炉的入口端上，如图 12 的剖面图所示。在这种位置关系中，处理炉 550 中的气氛可以含有不同于拉丝炉中的气体。例如，在热处理时可以向通道 513 内提供仅含氩气的氛围或者氦气和氩气的混合气体，以使光纤处于惰性气氛中。例如较好是，拉丝步骤时使拉丝用气体(如氦气)流经拉丝炉 520，热处理步骤时向处理炉 550 提供处理用气体，例如大致纯的氮气、纯氩气，或者大致纯的氩气和大致纯的氦气的混合气体。例如，如图 12 所示，处理炉 550 中的处理用气体可以从输入端口 511 通入，从处理炉底部的 515 排出。热处理步骤中惰性处理用气体流经处理炉 550 的加热的

处理区 512 中通道 513 的流量较好是大于 10 升/分钟, 最好是在 10-50 升/分钟的范围内。为了清楚起见, 图 12 中未示出额外的处理用组件(如额外的测量装置、冷却器、涂覆/固化装置和卷绕装置)。

在图 11 的优选实施方案中, 光纤 410 被拉丝经过加热的处理区 412, 拉丝速率为大于或等于 10m/s, 更好是大于或等于 15m/s, 在有些实施方案中为大于或等于 20m/s。较好是, 光纤 410 是单模突变折射率型光纤, 如图 9 所示, 该光纤具有锗掺杂剂的中央纤芯 414 和大致纯的二氧化硅包层 415。然而应该理解, 所述方法也能同样有效地用来处理任何具有锗掺杂中央纤芯的光纤。优选是, 纤芯中锗的存在量足以提供相对于包层至少 0.3%的相对折射率百分比。光纤 410 较好是如下进行拉丝: 将预制棒 402 加热至其拉丝接棒有流动稠度(1800-2200℃)并向经涂覆的光纤施加拉丝张力, 使用一组张力装置 470 来提供约 25 克至约 200 克之间的张力, 更好是约 60-170 克, 最好是约 90-150 克。在高速和张力下拉丝能大量制得光纤, 这些光纤再按照本发明进行热处理, 以使所得光纤与未经处理光纤相比衰减进一步降至最小。

将经拉丝光纤 410 保持在加热的处理区 412 中, 总停留时间大于 0.07 秒但小于 0.25 秒, 更好是大于 0.07 秒但小于 0.15 秒, 在有些实施方案中是小于 0.1 秒。处理之后, 光纤从处理区 412 的出口(位置“B”)离开处理区。光纤 410 经过处理区 412 期间的平均冷却速率优选为大于 1200℃/s 但小于 5000℃/s, 更好是大于 2000℃/s 但小于 5000℃/s, 在有些实施方案中是大于 2200℃/s 但小于 3500℃/s。在处理步骤中, 将处理区 412 的炉壁 414 加热并保持在合适的温度, 以在至少一部分加热的处理区 412 中提供大于 1300℃的通道温度(在光纤通过的通道 413 中央), 更好是 1400-1600℃。热处理步骤通过一个或多个加热器完成, 加热器可以例如是电阻式加热器。

在一个优选的实施方案中, 处理炉 450 包括多个单独的加热器(c-h)沿处理炉 450 的轴向长度方向分开放置。每个加热器都环绕光纤, 优选是每个加热器由控制器 417 单独控制。在热处理步骤中, 光纤受到来自多个加热区的热; 多个加热区中至少有一个加热区的设定温度不同于另一个加热区(每个加热区大致对应于加热器(c-h)的物理尺寸)。较好是, 每个加热器的壁 414 的温度受到控制器 417 的控制, 以使得加热区 c-h 中至少有一个具有 1400-1600℃的通道温度。在一个优选的工作方式中, 控制靠近拉丝炉 420 的第一区(例如 c)中央(位置“c'”)通道温度在 1100-1300℃之间, 同时控制远离拉丝炉的第二

区(例如 h)中央(位置“h'”)通道温度在 1400-1500℃之间。实际的壁温设定为能实现所需的光纤离开表面温度的条件, 以提供所需的冷却速率。例如, 若所用气体是除氦气以外的气体, 则壁温应设定至较低的温度, 因为氩气以及氩气和氦气的混合气体的导热系数较低, 这样要达到相同的冷却速率, 炉通道温度和光纤温度间的温差就需要更大。

根据本发明的实施方案, 优选配置处理炉 450 的位置以使光纤在进入处理区 412 时在位置“A”的光纤进入表面温度在 1200-1700℃范围内, 更好是在 1550-1700℃的范围内, 在有些实施方案中是大于 1600℃。较好的还有, 配置处理炉 450 的长度和工作温度以使得光纤 410A 在处理区 412 的出口位置“B”的离开温度在 1250-1450℃的范围内, 更好是在 1300-1450℃范围内, 最好是在 1325-1425℃的范围内。

根据如图 11 所示的一个实施方案, 光纤 410 进入处理区 450(位置“A”)的进入温度在 1550-1700℃的范围内, 更好是在 1600-1700℃的范围内, 经热处理的纤维 410A 离开处理区 412(位置“B”)的离开温度在 1300-1450℃的范围内, 更好是在 1325-1425℃的范围内。

处理炉 450 的马弗炉管 416 较好是由大致纯的二氧化硅石英玻璃、陶瓷和/或碳材料制得。处理炉的加热元件优选得自 Kanthal 的二硅化钼(molydisilicide)高温加热元件。管 416 的内径优选约为 60mm。图 12 的加热炉结构使得它具有与图 11 所述相同的组件。

如图 12 所示, 用设备 500 对光纤 510 进行拉丝和热处理。光纤 510 由加热的玻璃源 502 拉丝而成, 拉丝速度大于 10m/s, 拉丝张力在 25-200 克之间。向拉丝炉 520 中提供氦气气氛。优选是在拉丝炉下端使用防止空气进入的装置 572, 如气罩、可移动的隔板或门结构, 以使得可能进入炉膛的空气(会导致石墨马弗炉管 526 降解)最少。在拉丝炉 520 下游提供一个多组件的热处理炉 550, 其结构与图 11 所示相同, 不同的是热处理炉 550 与拉丝炉 520 在物理位置上是分开的, 它们之间的间隔内光纤经过空气。优选是以图 10 所示相同的方式配置热处理炉 550 的热处理区 512 的冷却温度分布, 以使得处理区内的总停留时间在 0.07 秒至 0.25 秒之间, 处理区 512 内的平均冷却速率优选为大于 1200℃/s 但小于 5000℃/s, 更好是大于 2200℃/s 但小于 3500℃/s。同样, 热处理炉 550 的结构和位置应使得位置 A 处的光纤进入表面温度在 1400-1700℃之间(对于大于或等于 15m/s 的拉丝速度而言, 应在 1550-1700℃的范围

内), 经热处理的光纤 510A 在离开处理区 512(位置“B”处)的光纤离开表面温度在 1325-1425℃之间。

实施例

下表 2 示出了用图 11 的处理设备制得的各种实施例(13-18)光纤的结果。

表 2

Ex	气 体	拉丝 速度 (m/s)	拉丝 张力 (克)	进入 温度 (°C)	离开 温度 (°C)	平均冷 却速率 (°C/s)	tr (s)	区长度 L (m)	1310 处 衰减 dB/km	1550 处 衰减 dB/km
13	He	10	100	1440	1270	1430	0.119	1.19	0.327	0.186
14	He	15	100	1560	1370	1610	0.118	1.77	0.322	0.185
15	He	15	100	1560	1270	3670	0.079	1.19	0.326	0.185
16	He	15	100	1560	1360	2530	0.079	1.19	0.326	0.184
17	He	24	100	1690	1360	4460	0.074	1.77	0.325	0.187
18	He	24	100	1690	1380	4190	0.074	1.77	0.325	0.186

实施例 13

图 11 示出了用于制造实施例 13 的经处理光纤 410A 的设备 400，不同的是本实施例中的处理炉只包括两个加热元件。由预制棒 402 拉丝形成单模突变折射率型光纤，该光纤具有锗掺杂的二氧化硅纤芯和大致纯的二氧化硅包层。拉丝光纤的拉丝张力为 100 克。光纤的折射率分布示于图 9，选择纤芯△折射率分布与半径以使得光纤在 1550nm 的总色散在 16-22 ps/nm/km 之间。热处理炉 450 直接连接在拉丝炉 420 上，提供了一条封闭通道，大致纯的氦气处理用气体以约 23 升/分钟的流量从入口 420A 流入，环绕预制棒 402，经过通道 413，从位置 B 流出。两个加热元件的温度均设定为 1250°C。处理炉 450 的处理区 412 的长度为 1.19m，处理炉 450 的马弗炉管 416 由纯石英制得，内径为 60mm。光纤 410 以 10m/s 的拉丝速度进行拉丝，经过处理炉 450，在区 412 中的总停留时间为 0.119 秒。光纤的进入表面温度为 1440°C，光纤的离开表面温度为 1270°C。因此，在处理区 412 中的平均冷却速率为 1430°C/s。测量按照该方法制得的光纤的衰减，在 1310nm 为 0.327 dB/km，在 1550nm 为 0.186dB/km。

实施例 14

同样，图 11 示出了用来制造实施例 14 的经处理光纤 410A 的设备 400。在本实施例中，将加热元件 c-d、e-f 和 g-h 成对缠绕在一起，以使得例如组合元件 c-d 用作一个单独的加热元件。同样，e-f 和 g-h 也缠绕在一起，从而制得三个可独立控制的加热元件。由预制棒 402 拉丝形成单模突变折射率型光

纤，该光纤具有锗掺杂的二氧化硅纤芯和大致纯的二氧化硅包层。拉丝光纤的拉丝张力为 100 克。光纤的折射率分布示于图 9，选择该折射率分布以使得光纤在 1550nm 的总色散在 16-22 ps/nm/km 之间。热处理炉 450 直接连接在拉丝炉 420 上，从而形成一条封闭通道，大致纯的氦气处理用气体以约 23 升/分钟的流量从入口 420A 流入，环绕预制棒 402，经过通道 413，从位置 B 流出。加热元件 c-d、e-f 和 g-h 的温度分别设定为 1250℃、1450℃和 1450℃。处理炉 450 的处理区 412 的长度为 1.77m，处理炉 450 的马弗炉管 416 由纯石英制得，内径为 60mm。光纤 410 以 15m/s 的拉丝速度进行拉丝，经过处理炉 450，在区 412 中的总停留时间为 0.118 秒。光纤的进入表面温度为 1560℃，光纤的离开表面温度为 1370℃。因此，在处理区 412 中的平均冷却速率为 1610℃/s。测量按照实施例 14 制得的光纤的衰减，在 1310nm 为 0.322 dB/km，在 1550nm 为 0.185dB/km。

实施例 15

实施例 3 的设备结构与实施例 13 所述相同(只有两个加热元件)。由预制棒 402 拉丝形成单模突变折射率型光纤，该光纤具有锗掺杂的二氧化硅纤芯和大致纯的二氧化硅包层。拉丝光纤的拉丝张力为 100 克。光纤的折射率分布示于图 9，选择其纤芯 Δ 与半径以使得光纤在 1550nm 的总色散在 16-22 ps/nm/km 之间。热处理炉 450 直接连接在拉丝炉 420 上，形成了一条封闭通道，大致纯的氦气处理用气体以约 23 升/分钟的流量从入口 420A 流入，环绕预制棒 402，经过通道 413，从位置 B 流出。两个加热元件的温度均设定为 1150℃。处理炉 450 的处理区 412 的长度为 1.19m，处理炉 450 的马弗炉管 416 由纯石英制得，内径为 60mm。光纤 410 以 15m/s 的拉丝速度进行拉丝，经过处理炉 450，在区 412 中的总停留时间为 0.079 秒。光纤的进入表面温度为 1560℃，光纤的离开表面温度为 1270℃。因此，在处理区 412 中的平均冷却速率为 3670℃/s。测量按照该方法制得的光纤的衰减，在 1310nm 为 0.326 dB/km，在 1550nm 为 0.185dB/km。

实施例 16

图 11 示出了用来制造实施例 16 的经处理光纤 410A 的设备 400。加热元件的结构与实施例 13 和 15 中所述相同。由预制棒 402 拉丝形成单模突变折射率型光纤，该光纤具有锗掺杂的二氧化硅纤芯和大致纯的二氧化硅包层。

拉丝光纤的拉丝张力为 100 克。光纤的折射率分布示于图 9，选择该折射率分布以使得光纤在 1550nm 的总色散在 16-22 ps/nm/km 之间。热处理炉 450 直接连接在拉丝炉 420 上，形成了一条封闭通道，大致纯的氦气处理用气体以约 23 升/分钟的流量从入口 420A 流入，环绕预制棒 402，经过通道 413，从位置 B 流出。所用两个加热元件的温度均设定为 1300℃。处理炉 450 的处理区 412 的长度为 1.19m，处理炉 450 的马弗炉管 416 由纯石英制得，内径为 60mm。光纤 410 以 15m/s 的拉丝速度进行拉丝，经过处理炉 450，在区 412 中的总停留时间为 0.079 秒。光纤的进入表面温度为 1560℃，光纤的离开表面温度为 1360℃。因此，在处理区 412 中的平均冷却速率为 2530℃/s。测量光纤的衰减，在 1310nm 为 0.326 dB/km，在 1550nm 为 0.184dB/km。

实施例 17

用于制备实施例 17 的经处理光纤的设备与实施例 14 所述相同。由预制棒拉丝形成单模突变折射率型光纤，该光纤具有锗掺杂的二氧化硅纤芯和大致纯的二氧化硅包层。拉丝光纤的拉丝张力为 100 克。光纤的折射率分布示于图 9，选择该折射率分布以使得光纤在 1550nm 的总色散在 16-22 ps/nm/km 之间。热处理炉 450 直接连接在拉丝炉 420 上，从而形成一条封闭通道，大致纯的氦气处理用气体以约 23 升/分钟的流量从入口 420A 流入，环绕预制棒 402，经过通道 413，从位置 B 流出。加热元件 c-d、e-f 和 g-h 的温度分别设定为 1150℃、1150℃和 1450℃。处理炉 450 的处理区 412 的长度为 1.77m，处理炉 450 的马弗炉管 416 由纯石英制得，内径为 60mm。光纤 410 以 24m/s 的拉丝速度进行拉丝，经过处理炉 450，在区 412 中的总停留时间为 0.074 秒。光纤的进入表面温度为 1690℃，光纤的离开表面温度为 1360℃。因此，在处理区 412 中的平均冷却速率为 4460℃/s。测量按照本方法制得的光纤的衰减，在 1310nm 为 0.325 dB/km，在 1550nm 为 0.187dB/km。

实施例 18

用来制备实施例 18 的经处理光纤的设备与实施例 14 和 17 中所述的相同。由预制棒 402 拉丝形成单模突变折射率型光纤，该光纤具有锗掺杂的二氧化硅纤芯和大致纯的二氧化硅包层。拉丝光纤的拉丝张力为 100 克。光纤的折射率分布示于图 9，选择该折射率分布以使得光纤在 1550nm 的总色散在 16-22 ps/nm/km 之间。热处理炉 450 直接连接在拉丝炉 420 上，从而提供一条封闭

通道，大致纯的氦气处理用气体以约 23 升/分钟的流量从入口 420A 流入，环绕预制棒 402，经过通道 413，从位置 B 流出。加热元件 c-d、e-f 和 g-h 的温度分别设定为 1150℃、1150℃和 1550℃。处理炉 450 的处理区 412 的长度为 1.77m，处理炉 450 的马弗炉管 416 由纯石英制得，内径为 60mm。光纤 410 以 24m/s 的拉丝速度进行拉丝，经过处理炉 450，在区 412 中的总停留时间为 0.074 秒。光纤的进入表面温度为 1690℃，光纤的离开表面温度为 1380℃。因此，在处理区 412 中的平均冷却速率为 4190℃/s。测量光纤的衰减，在 1310nm 为 0.325 dB/km，在 1550nm 为 0.186dB/km。

下表 3 示出了使用图 11 的处理设备的各理论实施例(实施例 19-22)的计算结果。

表 3

Ex	气体	拉丝速度 (m/s)	拉丝张力 (克)	进入温度 (℃)	离开温度 (℃)	平均冷却速率 (℃/s)	tr (s)	区长度 L (m)	1310 处 衰减 dB/km	1550 处 衰减 dB/km
19	He	10	100	1650	1350	1500	0.200	2.0	0.316	0.183
20	He	15	100	1650	1370	2110	0.133	2.0	0.318	0.184
21	He	20	100	1650	1380	2700	0.100	2.0	0.320	0.185
22	He	24	100	1650	1390	3130	0.083	2.0	0.320	0.185

在表 3 所示的理论实施例中，应该理解，对于高速处理如图 9 所示具有氧化锆掺杂的中央纤芯和大致纯的二氧化硅包层的光纤而言，所需的冷却速率优选为大于 1200℃/s；更好是大于 1200℃/s 但小于 5000℃/s。热处理区内的总停留时间较好是在 0.07-0.25 秒之间，更好是在 0.07-0.15 秒之间。

以上内容用来说明本发明，但本发明不受这些内容的限制。尽管本发明描述了本发明的一些实施方案，但本领域技术人员能容易地想到这些实施方案可以有許多改动而不会实质性偏离本发明的新颖特点和优点。因此，所有这些改动都在本发明权利要求书的范围内。应该理解，说明书的以上内容是对本发明的说明，而非将本发明局限于所揭示的具体实施方案，对所揭示实施方案的改动以及其它实施方案都在权利要求书的范围内。本发明由权利要求书及其等同范围来界定。

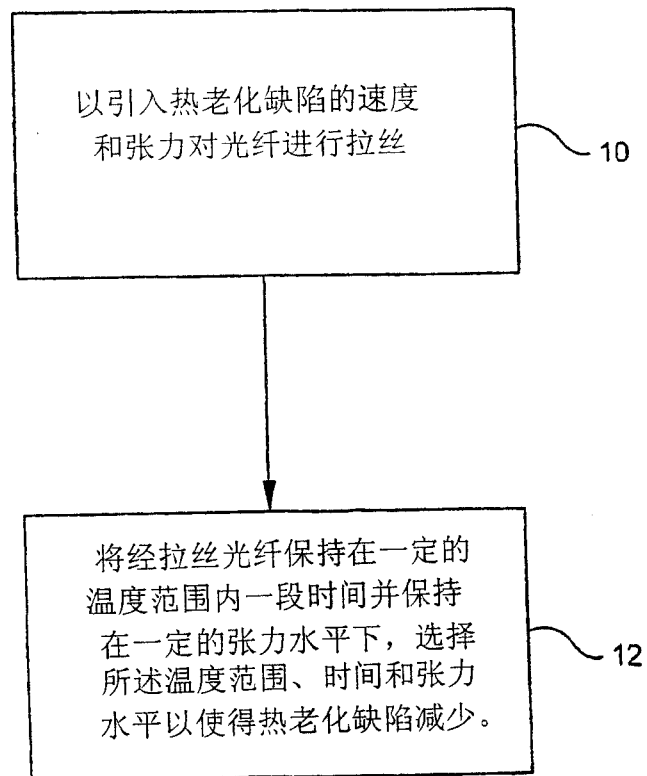


图 1

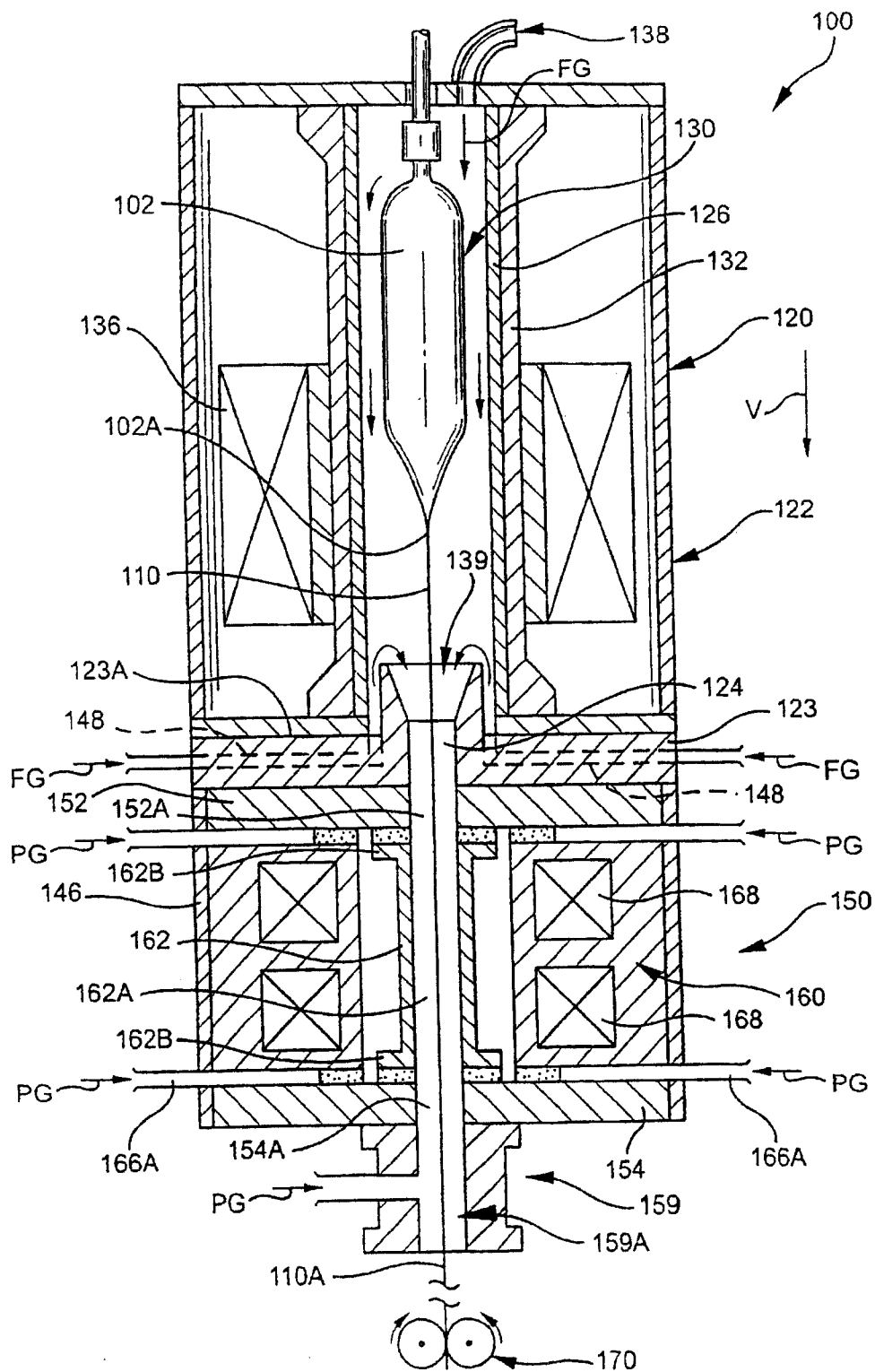


图 2

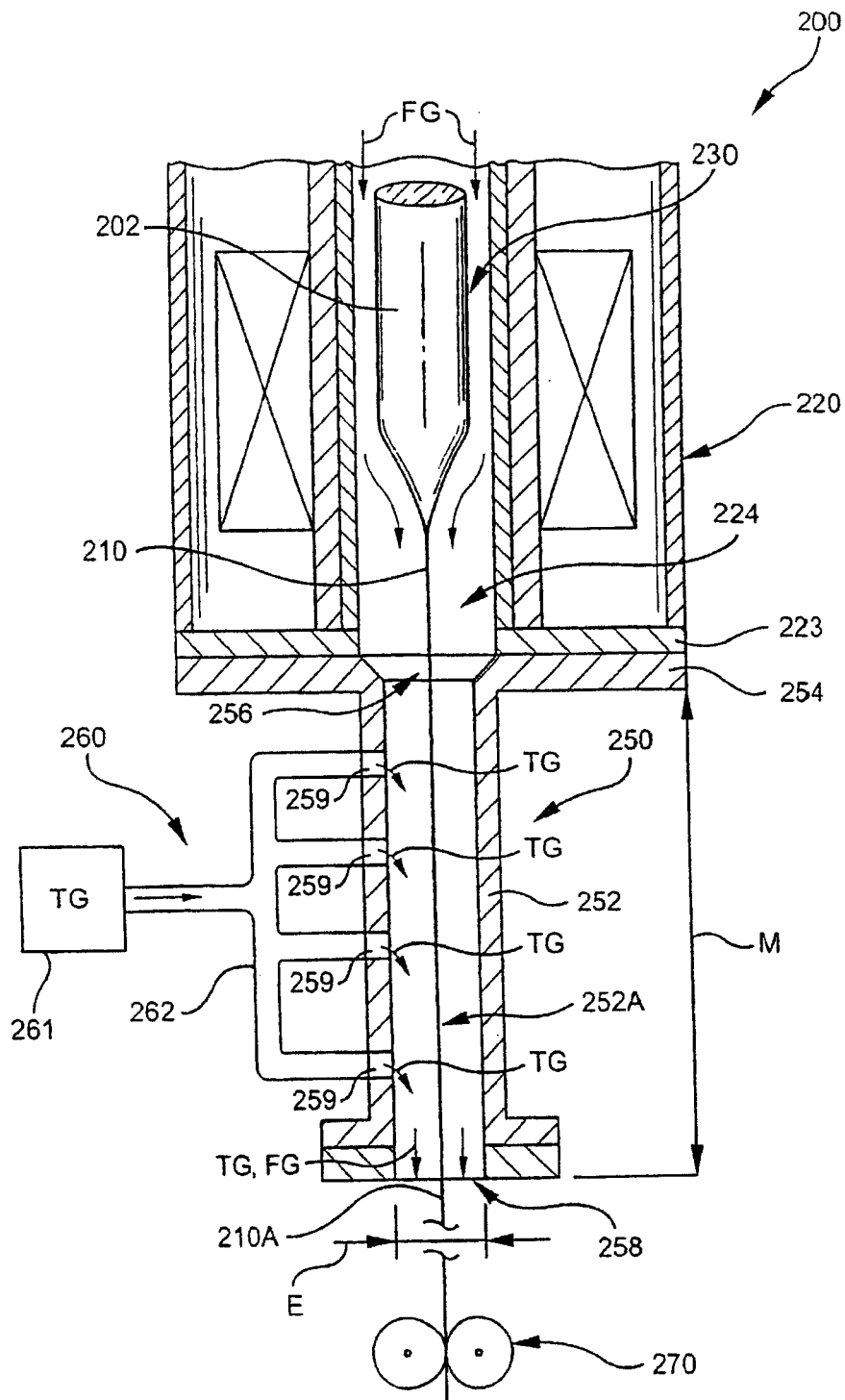


图 3

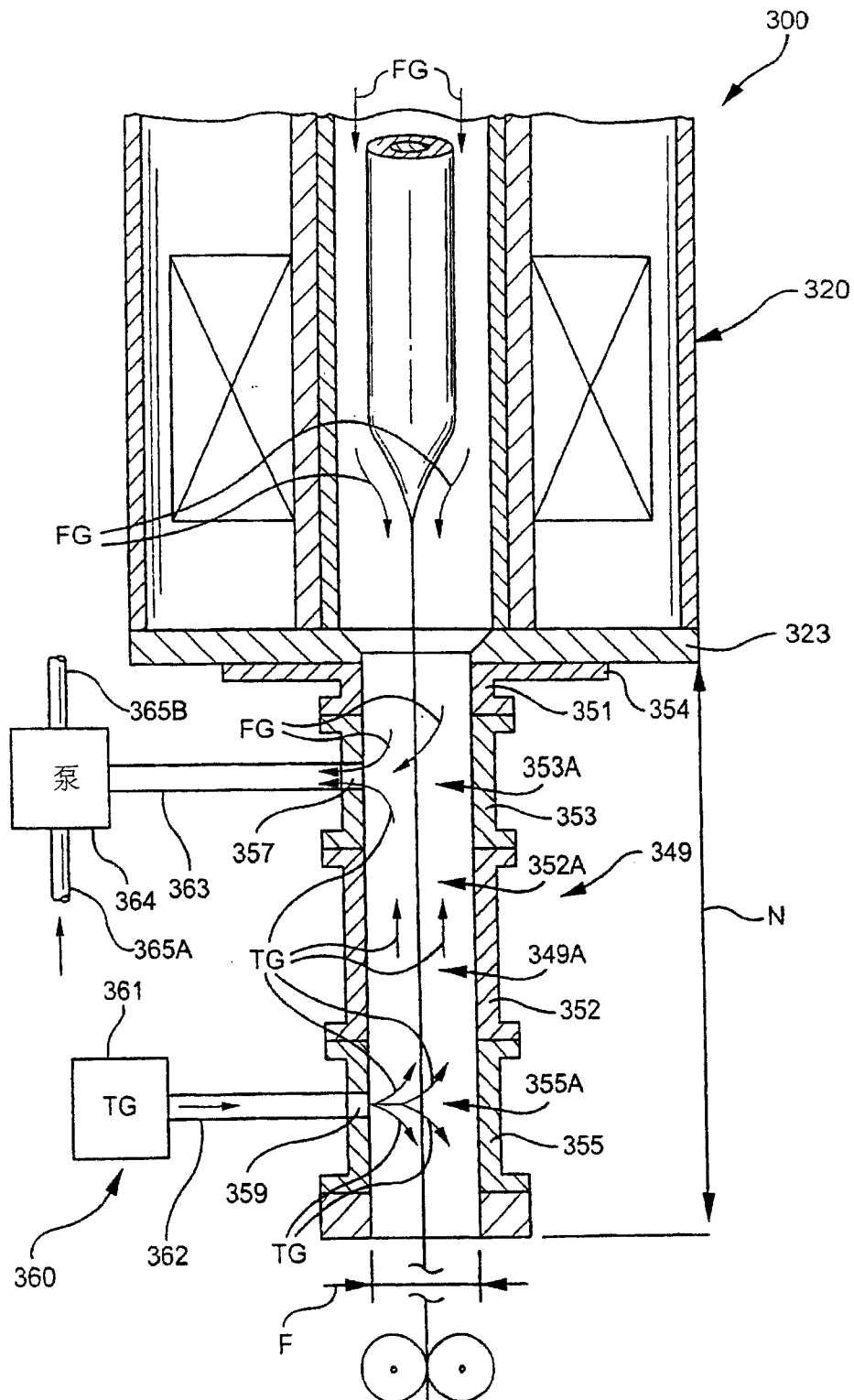


图 4

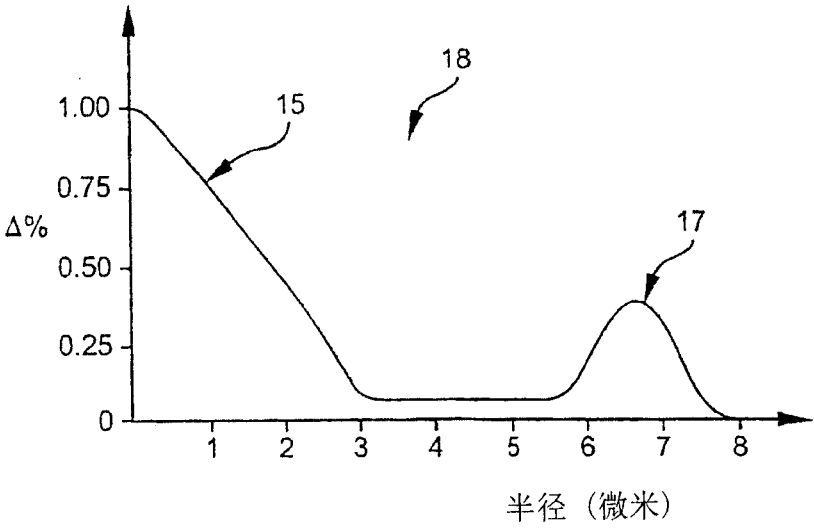


图 5

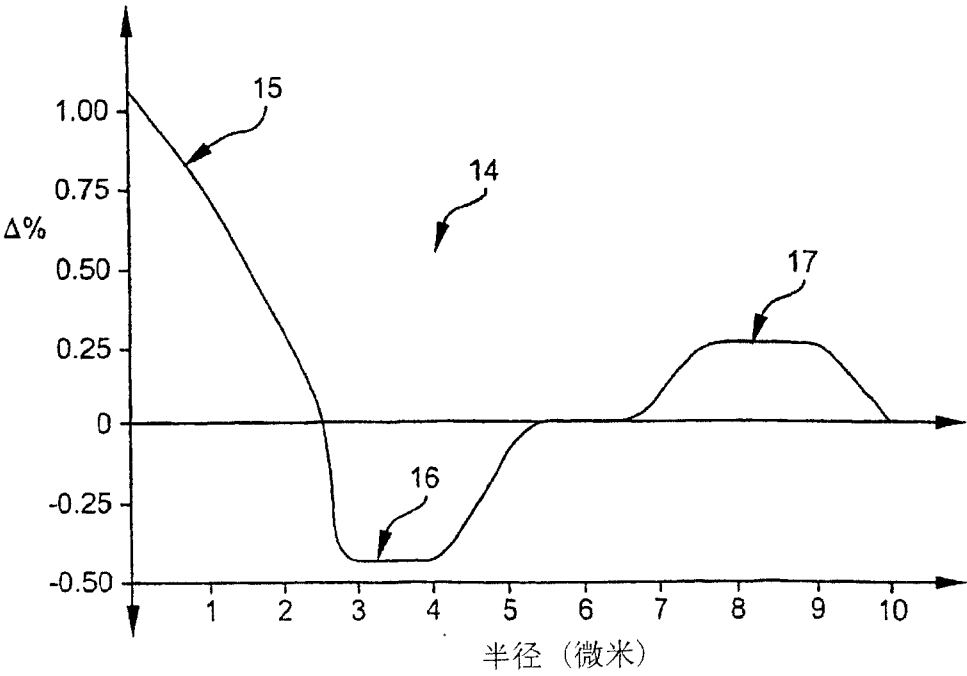


图 6

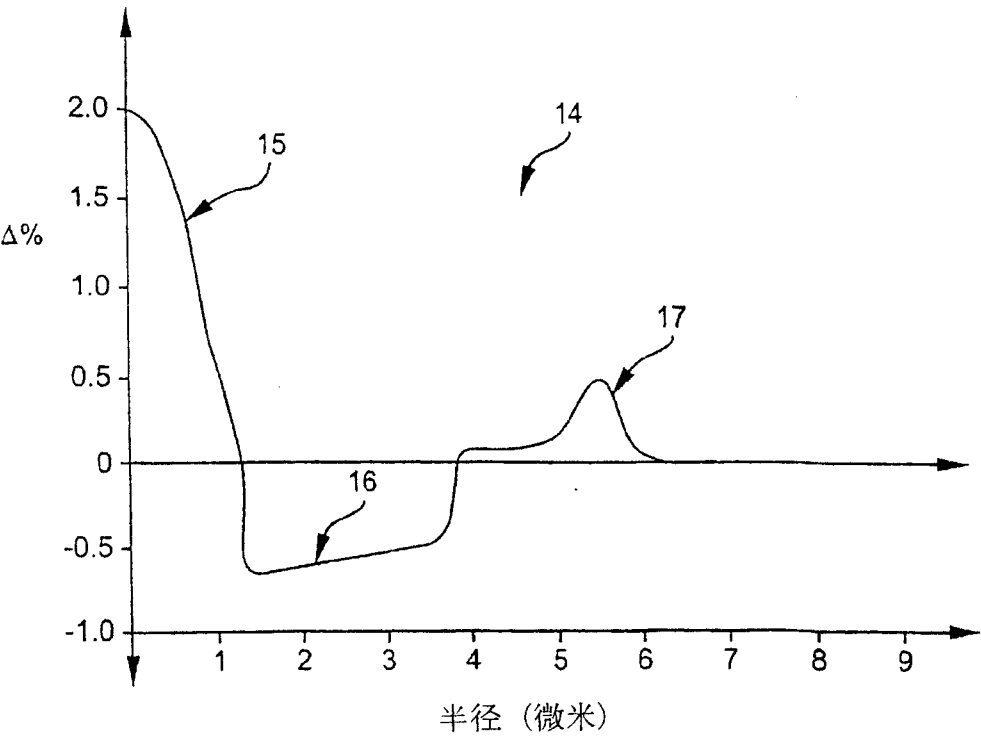


图 7

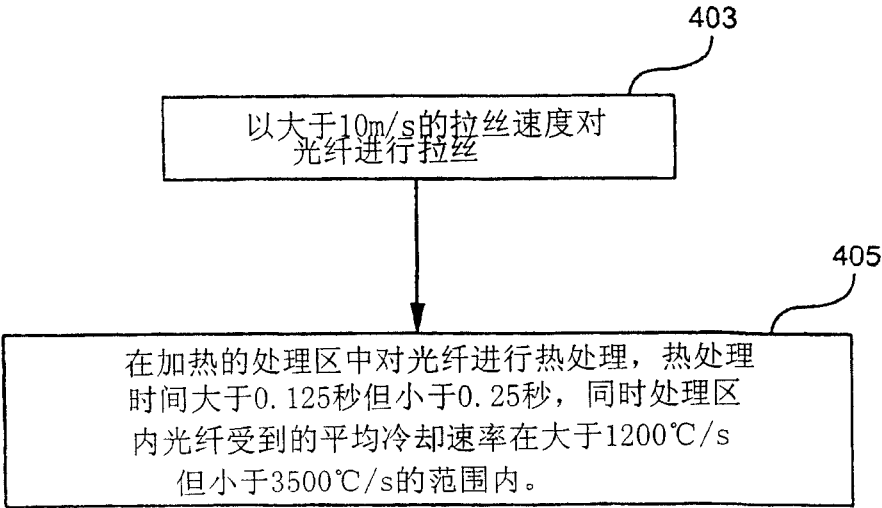


图 8

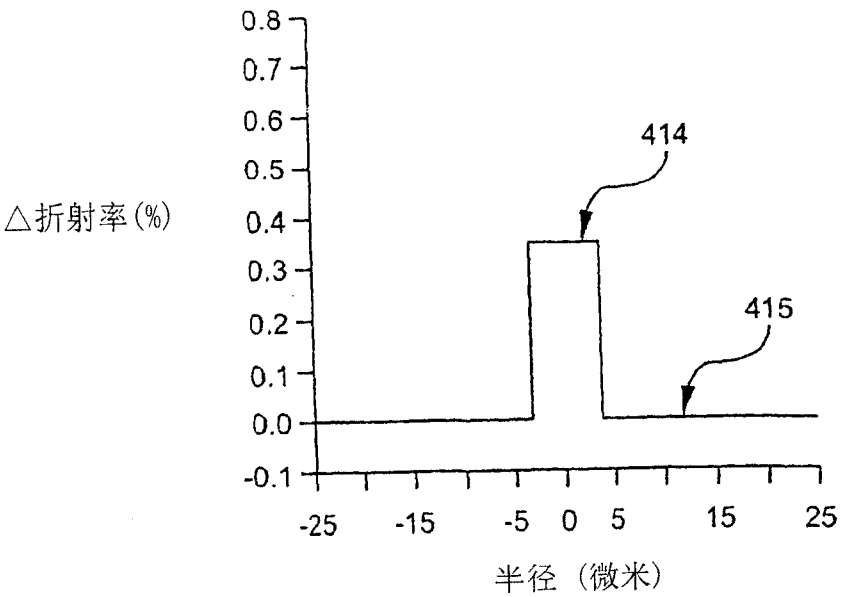


图 9

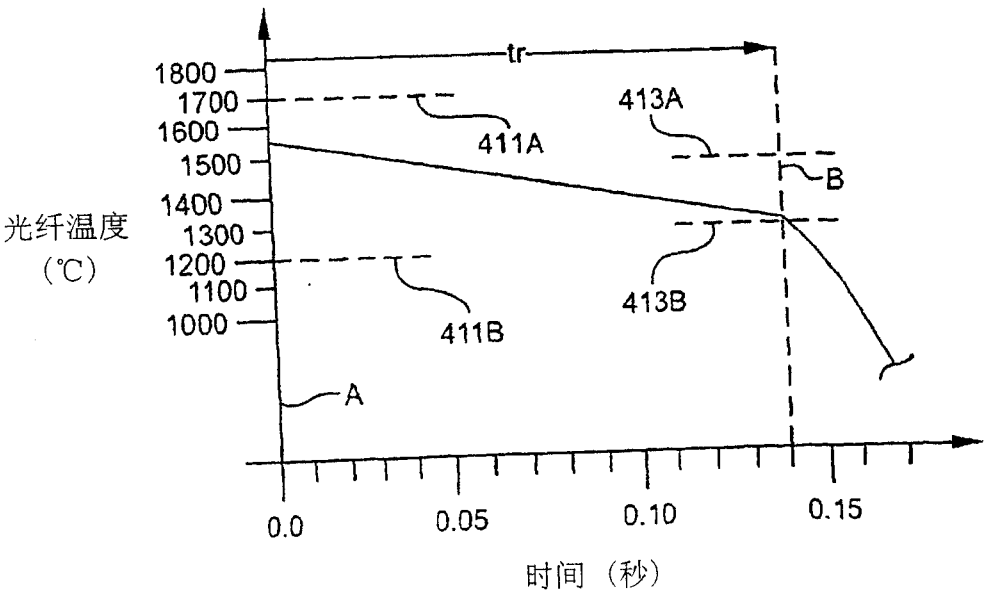


图 10

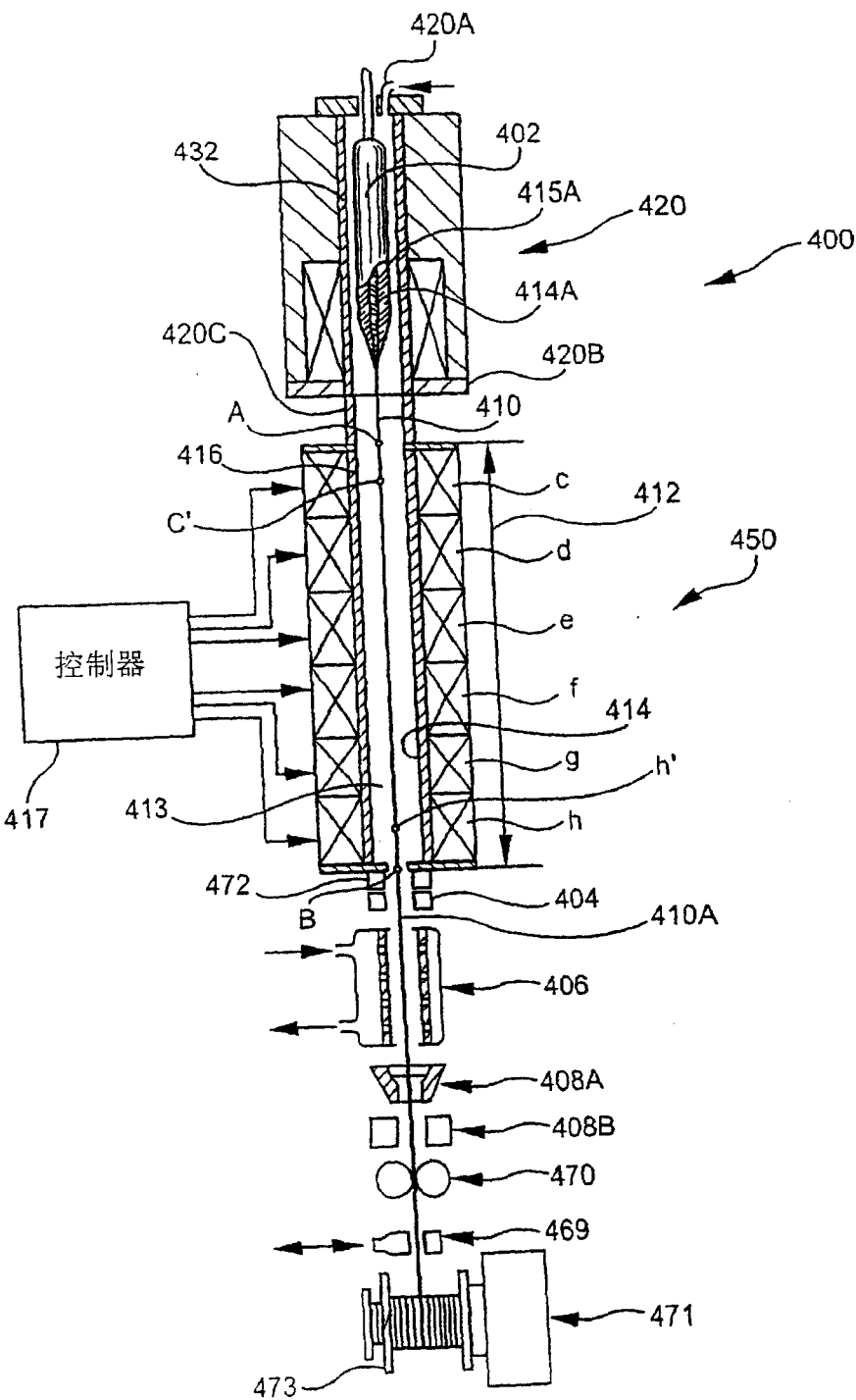


图 11

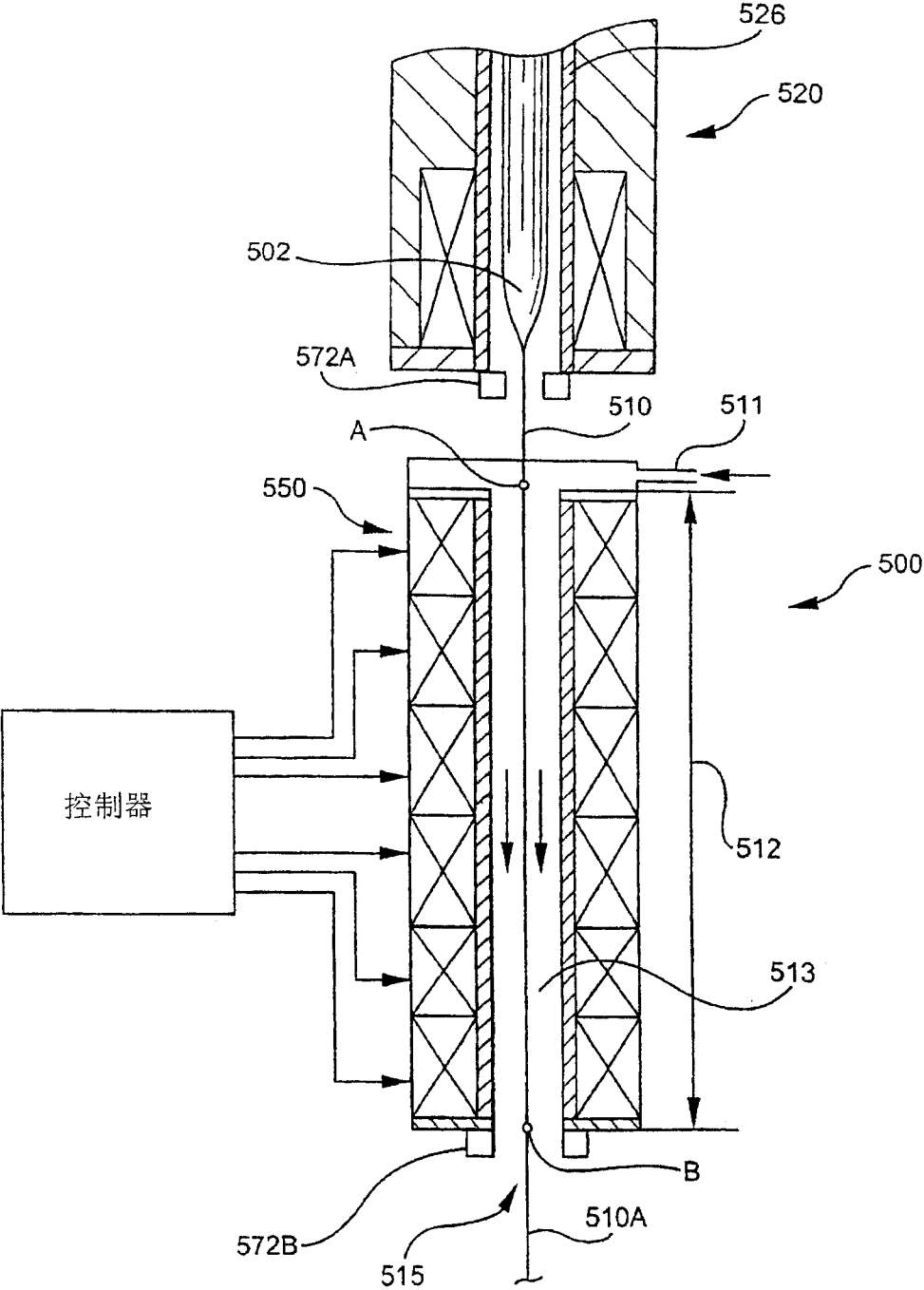


图 12