



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03810277.3

[43] 公开日 2005年8月10日

[11] 公开号 CN 1653851A

[22] 申请日 2003.5.7 [21] 申请号 03810277.3

[30] 优先权

[32] 2002. 5. 8 [33] US [31] 60/378,693

[32] 2002. 12. 4 [33] US [31] 60/430,677

[32] 2002. 12. 23 [33] US [31] 60/435,278

[86] 国际申请 PCT/US2003/014136 2003.5.7

[87] 国际公布 WO2003/096749 英 2003.11.20

[85] 进入国家阶段日期 2004.11.8

[71] 申请人 达纳公司

地址 美国俄亥俄州

[72] 发明人 S·库马尔 D·库马尔

M·L·大多尔蒂

[74] 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

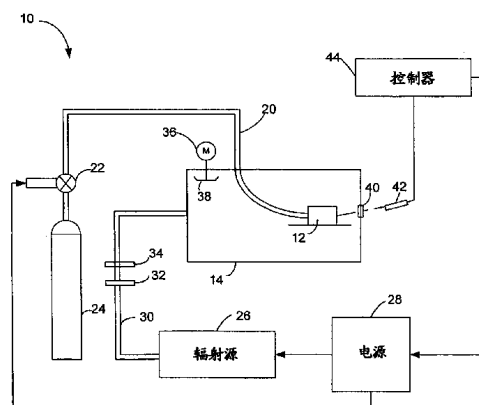
代理人 杨晓光 李 峥

权利要求书4页 说明书25页 附图7页

[54] 发明名称 等离子体辅助热处理

[57] 摘要

本发明提供了用于等离子体辅助热处理的方法和装置。该方法可以包括在等离子体催化剂(70)存在的情况下通过使气体受到电磁辐射在腔(14)中激发热处理等离子体,通过将物体暴露与等离子体中加热该物体,以及维持将物体暴露于等离子体中足够长的时间周期,以改变该物体的至少一种材料特性。



1. 一种热处理物体的方法，该方法包括：
在等离子体催化剂存在的情况下，通过使气体受到频率小于大约333GHz的电磁辐射在腔中激发热处理等离子体；
通过将所述物体暴露于所述等离子体来加热所述物体；以及
维持将所述物体暴露于所述等离子体中足够长的第一时间周期，以改变所述物体的至少一种材料特性。
2. 根据权利要求1的方法，其中所述加热步骤包括选自如下的热处理：淬火、退火、正火、球化退火、回火及其任意组合。
3. 根据权利要求1的方法，其中所述激发步骤包括：
将所述气体提供到所述腔；以及
将所述辐射提供到所述腔。
4. 根据权利要求3的方法，其中基本上同时进行所述提供辐射步骤和所述提供气体步骤。
5. 根据权利要求1的方法，其中所述加热步骤包括用附加的辐射维持所述等离子体。
6. 根据权利要求1的方法，还包括模混合所述辐射。
7. 根据权利要求1的方法，其中所述腔具有至少为大约大气压的初始气压。
8. 根据权利要求1的方法，还包括：
在第一温度下将所述物体维持第一时间周期；
在第二时间周期内将所述物体的温度变为第二温度；以及
在所述第二温度下将所述物体的温度维持第三时间周期。
9. 根据权利要求1的方法，还包括淬火所述物体。
10. 根据权利要求1的方法，其中所述等离子体催化剂包括惰性等离子体催化剂和活性等离子体催化剂中的至少一种。
11. 根据权利要求1的方法，其中所述等离子体催化剂包括粉末碳、

碳纳米管、碳纳米粒子、碳纤维、石墨、固体碳及其任意组合中的至少一种。

12. 根据权利要求1的方法，其中所述等离子体催化剂包括x射线、 γ 辐射、 α 粒子、 β 粒子、中子、质子及其任意组合中的至少一种。

13. 根据权利要求1的方法，其中所述等离子体催化剂包括电子和离子中的至少一种。

14. 根据权利要求1的方法，其中所述等离子体催化剂包括金属、碳、碳基合金、碳基复合物、导电聚合体、导电硅橡胶弹性体、聚合纳米复合物、有机无机复合物及其任意组合中的至少一种。

15. 根据权利要求1的方法，其中所述物体具有第一区域和第二区域，以及其中所述暴露步骤还包括将所述第一区域暴露于所述等离子体中且基本上防止将所述第二区域暴露于所述等离子体中。

16. 根据权利要求15的方法，还包括：

利用附加的辐射维持所述等离子体；以及

将所述物体设置在所述腔中以使所述第二区域与所述腔的内壁隔开小于所述辐射的波长大约25%的距离。

17. 根据权利要求15的方法，还包括相对于所述腔设置所述物体以使所述第二区域位于所述腔的外部。

18. 根据权利要求1的方法，其中所述至少一种材料特性包括硬度、颗粒尺寸、刚度、结晶结构、延展性、弹性、密度、光反射性、电导率、热导率、电子迁移率、磁化率、碳含量和孔隙率中的至少一种。

19. 根据权利要求1的方法，其中所述物体包括铁。

20. 根据权利要求1的方法，其中所述物体是传动装置、闭锁装置、壳体、发动机部件、汽车部件、制动部件、支撑部件、承载部件、承受摩擦磨损力的部件及其任意组合。

21. 根据权利要求1的方法，还包括在所述暴露期间相对于所述等离子体移动所述物体。

22. 一种用于热处理物体的系统，该系统包括：

等离子体催化剂;

容器, 在其中形成有第一腔, 且其中可以在所述等离子体催化剂存在的情况下通过使气体受到频率小于大约 333GHz 的电磁辐射激发等离子体;

辐射源, 与所述第一腔相连, 用于向所述第一腔提供所述辐射;

气体入口, 设置在用于连接到气体源的所述容器上, 用于提供气体;

检测器, 用于检测与所述物体有关的温度; 以及

控制器, 根据所述温度调节所述辐射源的功率级。

23. 根据权利要求 22 的系统, 其中所述容器至少部分地由所述物体的表面区域形成。

24. 根据权利要求 23 的系统, 其中所述容器至少具有一个物体入口和物体出口, 该系统还包括输送装置, 用于通过所述入口和出口输送所述表面区域通过所述容器。

25. 根据权利要求 22 的系统, 其中所述控制器设置成控制所述辐射源的功率级以使与所述物体有关的温度基本上符合预定的时间-温度分布。

26. 根据权利要求 22 的系统, 还包括辐射器, 在所述辐射器中设置所述容器。

27. 根据权利要求 26 的系统, 还包括模混合器, 所述模混合器可以相对于所述辐射器移动。

28. 根据权利要求 26 的系统, 其中所述辐射器是多模辐射器。

29. 根据权利要求 26 的系统, 其中所述辐射器包括外层, 该外层包括基本上不透射辐射的材料。

30. 根据权利要求 29 的系统, 其中所述容器包括透射辐射的材料。

31. 根据权利要求 22 的系统, 还包括第二容器, 在所述第二容器中形成第二腔, 其中所述第一腔与所述第二腔相连, 且其中所述热处理在所述第二腔中发生。

32. 根据权利要求 22 的系统, 其中所述第一腔形成在容器中, 该容

器具有允许在所述第一腔中由所述等离子体产生的热放出并用于在所述第一腔的外部热处理所述物体的孔。

33. 根据权利要求 22 的系统，其中所述等离子体催化剂包括惰性等离子体催化剂和活性等离子体催化剂中的至少一种。

34. 根据权利要求 22 的系统，其中所述等离子体催化剂包括粉末碳、碳纳米管、碳纳米粒子、碳纤维、石墨、固体碳及其任意组合中的至少一种。

35. 根据权利要求 22 的系统，其中所述等离子体催化剂包括 x 射线、 γ 辐射、 α 粒子、 β 粒子、中子、质子及其任意组合中的至少一种。

36. 根据权利要求 22 的系统，其中所述等离子体催化剂包括电子和离子中的至少一种。

37. 根据权利要求 22 的系统，其中所述等离子体催化剂包括含氮化合物、金属、碳、碳基合金、碳基复合物、导电聚合体、导电硅橡胶弹性体、聚合纳米复合物、有机无机复合物及其任意组合中的至少一种。

等离子体辅助热处理

相关申请的交叉引用

本申请要求以下美国临时专利申请的优先权：2002年5月8日申请的No.60/378,693，2002年12月4日申请的No.60/430,677，2002年12月23日申请的No.60/435,278，在此引入其整个内容作为参考。

技术领域

本发明涉及热处理系统和方法。特别地说，本发明涉及在等离子体催化剂存在的情况下使用电磁辐射激发、调节和维持气体中的等离子体以及在热处理过程中使用等离子体的系统和方法。

背景技术

各种热处理（如，淬火，退火，正火，球化退火，回火等）是公知的。为了得到某些需要的条件或特性，这些处理包括涉及固态的金属或合金的加热和冷却的操作或操作的结合。因此，对于产生具有特别适合于特殊的部件、结构或应用中的特性的材料，热处理将是有益的。

在大多数热处理过程中，例如，通过控制成分的温度，成分的温度变化率，以及成分在某一温度或一个温度范围内经过的时间量来控制/得到成分的需要材料特性。调节热处理的参数可以得到材料特性的变化，包括，例如，硬度，颗粒尺寸，刚度，结晶结构，延展性，弹性，密度，光反射性，电导率，热导率，电子迁移率，磁化率，碳含量，以及孔隙率。

虽然公知的热处理方法可以得到可接受的结果，但是某些方法包括一些缺点。例如，某些公知的方法采用传统的熔炉用于加热将被处理的材料。使用这些熔炉，很难精确地控制材料的温度。例如，由于熔炉中温度增长

的特殊速率，在材料的温度中将具有相应的滞后。这个滞后将会是显著的，且在某些热处理过程中，不是所有的将被处理的材料都可以实现需要的处理温度或满足需要的时间-温度分布。这将导致在材料中不需要的相的形成或导致不利的材料特性。

而且，使用传统的熔炉的某些传统的热处理方法将不适用于具有非标准外形或形状的热处理物体。例如，在传统的系统中，在将被热处理的部分上的任何锐角转角或小倒角将在热处理过程中产生大的应力集中。作为这种大的应力集中的结果，该部分将在热处理过程中经历破裂或某些其它类型的损坏。还有，传统的热处理系统将不能适用于具有凹角结构，多个不同厚度或变化的横截面的不寻常形状的部分。

本发明可以解决与公知的热处理相关的一个或多个问题。

发明内容

本发明的一个方面提供了一种热处理物体的等离子体辅助方法。该方法包括在等离子体催化剂存在的情况下，通过使气体受到频率小于大约333GHz的电磁辐射（例如微波辐射）激发热处理等离子体，并通过将物体暴露于等离子体来加热物体。维持将物体暴露于等离子体中足够长的第一时间周期，以改变物体的至少一种材料特性。

本发明的另一方面提供了一种用于等离子体辅助热处理物体的系统。该系统等离子体催化剂；容器，在其中形成腔，且其中可以在等离子体催化剂存在的情况下通过使气体受到辐射激发等离子体；辐射源，与腔相连，用于向腔提供辐射；气体入口，设置在用于连接到气体源的容器上，用于提供气体；检测器，用于检测与物体有关的温度；以及控制器，根据时间或温度调节辐射源的功率级。

根据本发明还提供了用于等离子体辅助热处理的大量等离子体催化剂。

附图说明

本发明的其它特征将通过下面结合附图的详细描述变得明显，其中相同的标号表示相同的部件，其中：

图 1 表示根据本发明的等离子体辅助热处理系统的示意图；

图 1A 表示根据本发明的部分等离子体辅助热处理系统的实施例，该系统通过向等离子体腔加入粉末等离子体催化剂来激发、调节或维持腔中的等离子体；

图 2 表示根据本发明的等离子体催化剂纤维，该纤维的至少一种成分沿其长度方向具有浓度梯度；

图 3 表示根据本发明的等离子体催化剂纤维，该纤维的多种成分沿其长度按比率变化；

图 4 表示根据本发明的另一个等离子体催化剂纤维，该纤维包括内层核芯和涂层；

图 5 表示根据本发明的图 4 所示的等离子体催化剂纤维沿图 4 的线 5-5 的截面图；

图 6 表示根据本发明的等离子体系统的另一个部分的实施例，该等离子体系统包括延伸通过激发口的伸长型等离子体催化剂；

图 7 表示根据本发明在图 6 的系统中使用的伸长型等离子体催化剂的实施例；

图 8 表示根据本发明在图 6 的系统中使用的伸长型等离子体催化剂的另一个实施例；

图 9 表示根据本发明的部分等离子体热处理系统的实施例，用于将辐射引入等离子体腔；

图 10 表示根据本发明的等离子体辅助热处理方法的示意性实施例的流程图；以及

图 11 表示根据本发明的示意性等离子体喷射装置。

具体实施方式

根据本发明可以提供用于等离子体辅助热处理的方法和装置。根据本

发明可以用等离子体催化剂激发、调节和维持该等离子体。

在此引入下列共同拥有并同时申请的美国专利申请的全部内容作为参考：美国专利申请

No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0008) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0009) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0010) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0011) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0012) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0013) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0015) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0016) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0017) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0018) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0020) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0021) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0023) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0024) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0025) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0026) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0027) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0028) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0029) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0030) ,
No.10/___,___ (Atty.Docket No.1837.0033) 。

等离子体系统的说明

图 1 表示根据本发明的一个方面的热处理系统 10。在该实施例中，在位于电磁辐射腔（即辐射器（applicator））14 内部的容器中形成腔 12。在另一个实施例中（未示出），容器 12 和辐射腔 14 是同一个，从而不需

要两个独立的部件。在其中形成有腔 12 的容器可包括一个或多个辐射透射（例如微波透射）隔板，以改善其热绝缘性能使腔 12 无需显著地屏蔽辐射。

在一个实施例中，腔 12 在由陶瓷制成的容器内形成。由于根据本发明的等离子体可以达到非常高的温度，因此可以使用能工作于超过约 2000 华氏度，例如约 3000 华氏度的陶瓷。陶瓷材料可以包括重量百分比为 29.8% 的硅，68.2% 的铝，0.4% 的氧化铁，1% 的钛，0.1% 的氧化钙，0.1% 的氧化镁，0.4% 的碱金属，该陶瓷材料为 Model No. LW-30，由 Pennsylvania, New Castle 的 New Castle Refractories 公司出售。然而本领域的普通技术人员可知，根据本发明也可以使用其它材料，例如石英以及那些与上述不同的材料。可以理解本发明的其它实施例可以包括倾向于在低于约 2000 华氏度的温度下工作的材料。

在一个成功的实验中，等离子体形成在部分开口的腔中，该腔在第一砖状物内并以第二砖状物封顶。腔的尺寸为约 2 英寸 × 约 2 英寸 × 约 1.5 英寸。在砖状物中至少具有两个与腔连通的孔：一个用来观察等离子体，并且至少一个用来供给将要形成等离子体的气体。腔的尺寸和形状取决于需要进行的热处理过程。此外，腔至少应该设置成能够阻止或防止等离子体上升/漂移从而离开主要处理区。

腔 12 可以通过管线 20 和控制阀 22 与一个或多个气体源 24（例如氩气、氮气、氢气、氙气、氦气气体源）相连，由电源 28 提供能量。在某些实施例中，等离子体由气体源 24 提供的一种或多种气体形成。管线 20 不仅可以是能够输送气体的任何管道，而且可以足够窄以便防止显著的辐射泄漏。例如，管线 20 可以是管状（例如在大约 1/16 英寸和大约 1/4 英寸之间，如大约 1/8 英寸）。而且，如果需要，真空泵可以与腔相连来抽走在等离子体处理中产生的任何不必要的气体。

一个辐射泄漏探测器（未示出）安装在源 26 和波导管 30 附近，并与安全联锁系统相连，如果检测到泄漏量超过预定安全值时，例如由 FCC 和/或 OSHA（例如 $5\text{mW}/\text{cm}^2$ ）规定的值，就自动关闭辐射（例如微波）电源。

由电源 28 提供能量的辐射源 26 通过一个或多个波导管 30 将辐射能引入腔 14。本领域的普通技术人员应该理解源 26 可以直接连到腔 14 或腔 12，从而取消波导管 30。进入腔 12 的辐射能可以用来激发腔内的等离子体。通过将附加的辐射例如微波辐射与催化剂相结合可以充分维持该催化的等离子体并将其限制在腔内。

通过循环器 32 和调谐器 34（例如，3 通短线（3-stub）调谐器）提供辐射能。调谐器 34 用来使作为改变激发或处理条件的函数的反射能减至最少，特别是在催化的等离子体形成之前，因为微波能将被等离子体强烈吸收。

如下面更详细的说明，如果腔 14 支持多模，尤其当这些模可持续或周期性地混合时，腔 14 内的辐射透射腔 12 的位置并不重要。例如，马达 36 可以与模混合器 38 相连，使时间平均的辐射能量分布在腔 14 内大致均匀。而且，窗口 40（例如石英窗）可以设置在邻近腔 12 的腔 14 的一个壁上，使能用温度传感器 42（例如光学高温计）来观察腔 12 内的处理。在一个实施例中，光学高温计具有在某一跟踪范围内随温度变化的电压输出。

传感器 42 能够产生作为腔 12 中相关工件（未示出）的温度或者任意其它可监测的条件的函数的输出信号，并将该信号供给控制器 44。也可采用双重温度感应和加热，以及自动冷却速度和气流控制。该控制器 44 又用来控制电源 28 的运行，其具有一个与上述辐射源 26 相连的输出端和另一个与控制气流进入腔 12 的阀 22 相连的输出端。

尽管可以使用任何小于约 333 GHz 频率的辐射，本发明采用由通讯和能源工业（CPI）提供的 915MHz 和 2.45GHz 微波源取得了同样的成功。2.45GHz 系统持续提供从大约 0.5 千瓦到大约 5.0 千瓦的可变微波能。3 通短线调谐器使得阻抗与最大能量传递相匹配，并且采用了测量入射和反射能量的双向连接器（图 1 中未示出）。

如上所述，根据本发明可以使用任何小于大约 333 GHz 频率的辐射。例如，可采用诸如能量线频率（大约 50Hz 至 60 Hz）这样的频率，尽管形成等离子体的气体压力可能降低以便有助于等离子体激发。此外，根据本

发明，任何无线电频率或微波频率可以使用包括大于约 100kHz 的频率。在大多数情况下，用于这些相对高频的气体压力不需要为了激发、调节或维持等离子体而降低，因而在大气压和大气压之上能够实现多种等离子体处理。

该装置用采用 LabVIEW 6i 软件的计算机控制，它能提供实时温度监测和电磁辐射能量控制。通过使用移位寄存器来减少噪音，以便产生适当数量数据点的平滑平均值。还有，限制阵列中存储的数据点的数量以便提高速度和计算效率。高温计测量大约 1cm^2 的敏感区域温度，用于计算平均温度。高温计用于探测两个波长的辐射强度，并利用普朗克定律拟合这些强度值以测定温度。然而，应知道也存在并可使用符合本发明的用于监测和控制温度的其它装置和方法。例如，在共有并同时提出申请的美国专利申请 No.10/___,___ (Attorney Docket No.1837.0033) 中说明了根据本发明可以使用的控制软件，在此引入其整个内容作为参考。

腔 14 具有几个具有微波屏蔽的玻璃盖观察口和一个用于插入高温计的石英窗。尽管不是必须使用，还具有几个与真空泵和气体源相连的口。

系统 10 还包括一个带有用自来水冷却的外部热交换器的封闭循环去离子水冷却系统（未示出）。在操作中，去离子水先冷却磁电管，接着冷却循环器（用于保护磁电管）中的装卸处，最后流过焊接在腔的外表面上的水通道冷却辐射腔。

等离子体催化剂

根据本发明的等离子体催化剂可包括一种或多种不同的物质并且可以是惰性或者活性的。在气体压力低于、等于或大于大气压力的情况下，等离子体催化剂可以在其它物质中激发、调节和/或维持等离子体。

根据本发明的一种形成等离子体的方法可包括使腔内气体在惰性等离子体催化剂存在的情况下受到小于大约 333GHz 频率的电磁辐射。根据本发明的惰性等离子体催化剂包括通过使根据本发明的局部电场（例如电磁场）变形而诱发等离子体的任何物体，而无需对催化剂施加附加的能量，例如通过施加电压引起瞬间放电。

本发明的惰性等离子体催化剂也可以是例如纳米粒子或纳米管。这里所使用的术语“纳米粒子”包括最大物理尺寸小于约 100nm 的至少是半导电的任何粒子。并且，掺杂和不掺杂的、单层壁和多层壁的碳纳米管由于它们异常的导电性和伸长形状对本发明的激发等离子体尤其有效。该纳米管可以有任意合适的长度并且能够以粉末状固定在基板上。如果固定的话，当等离子体激发或维持时，该纳米管可以在基板的表面上任意取向或者固定到基板上（例如以一些预定方向）。

本发明的惰性等离子体也可以是例如粉末，而不必制成纳米粒子或纳米管。例如它可以形成为纤维、粉尘粒子、薄片、薄板等。在粉末态时，催化剂可以至少暂时地悬浮于气体中。如果需要的话，通过将粉末悬浮于气体中，粉末就可以迅速分散到整个腔并且更容易被消耗。

在一个实施例中，粉末催化剂可以加载到热处理腔内并至少暂时地悬浮于载气中。载气可以与形成等离子体的气体相同或者不同。而且，粉末可以在引入腔前加入气体中。例如，如图 1A 所示，辐射源 52 可以对腔 55 施加辐射，该腔包括等离子体腔 60（例如，可以发生热处理的地方）。粉末源 65 将催化剂粉末 70 供给气流 75。在一个可选实施例中，粉末 70 可以先以大块（例如一堆）方式加入腔 60，然后以任意种方式分布在腔内，包括气体流动穿过或越过该块状粉末。此外，可以通过移动、搬运、撒下、喷洒、吹或以其它方式将粉末送入或分布于腔内，将粉末加到气体中用来激发、调节或维持涂覆等离子体。

在一个实验中，通过在伸入腔的铜管中设置一堆碳纤维粉末来使等离子体在腔内激发。尽管有足够的辐射被引入腔内，铜管屏蔽粉末受到的辐射而不发生等离子体激发。然而，一旦载气开始流入铜管，促使粉末流出铜管并进入腔内，从而使粉末受到辐射，在大约大气压下腔内等离子体几乎瞬间激发。

根据本发明的粉末催化剂基本上是不燃的，这样它就不需要包括氧或者不需要在氧存在的情况下燃烧。如上所述，该催化剂可以包括金属、碳、碳基合金、碳基复合物、导电聚合物、导电硅橡胶弹性体、聚合物纳米复

合物、有机无机复合物和其任意组合。

而且，粉末催化剂可以在等离子体腔内基本均匀的分布（例如悬浮于气体中），并且等离子体激发可以在腔内精确地控制。均匀激发在一些应用中是很重要的，包括在要求等离子体暴露时间短暂的应用中，例如以一个或多个爆发的形式。还需要有一定的时间来使粉末催化剂本身均匀分布在腔内，尤其在复杂的多腔的腔内。因而，根据本发明的另一个方面，粉末等离子体可以通过多个激发口引入腔内以便在其中更快地形成更均匀的催化剂分布（如下）。

除了粉末，根据本发明的惰性等离子体催化剂还可包括，例如，一个或多个微观或宏观的纤维、薄片、针、线、绳、细丝、纱、细绳、刨花、裂片、碎片、编织线、带、须或其任意混合物。在这些情况下，等离子体催化剂可以至少具有一部分，该部分的一个物理尺寸基本上大于另一个物理尺寸。例如，在至少两个垂直尺寸之间的比率至少为约1:2，也可大于约1:5或者甚至大于约1:10。

因此，惰性等离子体催化剂可以包括至少一部分与其长度相比相对细的材料。也可以使用催化剂束（例如纤维），其包括例如一段石墨带。在一个实验中，成功使用了一段具有大约三万股石墨纤维的、每股直径约为2-3微米的带。内部纤维数量和束长对激发、调节或维持等离子体来说并不重要。例如，用大约1/4英寸长的一段石墨带得到满意的结果。根据本发明成功使用了一种碳纤维是由Anderson, South Carolina的Hexcel公司出售的商标为Magnamite®的Model No.AS4C-GP3K。此外，还成功地使用了碳化硅纤维。

根据本发明另一个方面的惰性等离子体催化剂可以包括一个或多个如基本为球形、环形、锥形、立方体、平面体、圆柱形、矩形或伸长形的部分。

上述惰性等离子体催化剂包括至少一种至少是半导电的材料。在一个实施例中，该材料具有强导电性。例如，根据本发明的惰性等离子体催化剂可以包括金属、无机材料、碳、碳基合金、碳基复合物、导电聚合体、

导电硅橡胶弹性体、聚合纳米复合物、有机无机复合物或其任意组合。可以包括在等离子体催化剂中的一些可能的无机材料包括碳、碳化硅、钼、铂、钽、钨和铝，虽然相信也可以使用其它导电无机材料。

除了一种或多种导电材料以外，本发明的惰性等离子体催化剂还可包括一种或多种添加剂（不要求导电性）。如这里所用的，该添加剂可以包括使用者想要加入等离子体的任何材料。例如在半导体和其他材料的掺杂过程中，可通过催化剂向等离子体加入一种或多种掺杂剂。参见，例如，共有并同时提出申请的美国专利申请 No.10/____（Attorney Docket No.1837.0026），在此引入其整个内容作为参考。催化剂可以包括掺杂剂本身或者，它可以包括分解后能产生掺杂剂的前体材料。因此，根据最终期望的等离子体复合物和使用等离子体处理，等离子体催化剂可以以任意期望的比率包括一种或多种添加剂和一种或多种导电材料。

惰性等离子体催化剂中的导电成分与添加剂的比率随着其被消耗的时间变化。例如，在激发期间，等离子体催化剂可以要求包括较大百分比的导电成分来改善激发条件。另一方面，如果在维持等离子体时使用，催化剂可以包括较大百分比的添加剂。本领域普的通技术人员可知用于激发和维持等离子体的等离子体催化剂的成分比率可以是相同的。

在本发明的某些实施例中，可以使用预定的等离子体催化剂比率分布。在一些常规的等离子体处理中，等离子体中的成分是根据需要来增加的，但是这样的增加一般要求可编程装置根据预定计划来添加成分。然而，根据本发明，催化剂中的成分比率是可变的，因而等离子体本身的成分比率可以自动变化。这就是说，在任一特定时间等离子体的成分比率依赖于当前被等离子体消耗的催化剂部分。因此，在催化剂内的不同位置的催化剂成分比率可以不同。并且，等离子体的成分比率依赖于当前和/或在消耗前的催化剂部分，尤其在流过等离子体腔内的气体流速较慢时。

根据本发明的惰性等离子体催化剂可以是均匀的、不均匀的或渐变的。而且，整个催化剂中等离子体催化剂成分比率可以连续或者不连续改变。例如在图 2 中，成分比率可以平稳改变形成沿催化剂 100 长度方向的梯度。

催化剂 100 可包括一股在段 105 含有较低浓度的一种或多种成分并向段 110 连续增大浓度的材料。

可选择地，如图 3 所示，在催化剂 120 的每一部分比率可以不连续变化，例如包括浓度不同的交替段 125 和 130。应该知道催化剂 120 可以具有多于两段的形式。因此，被等离子体消耗的催化剂成分比率可以以任意预定的形式改变。在一个实施例中，当等离子体被监测并且已检测到特殊的添加剂时，可以自动开始或结束进一步的处理。

改变被维持的等离子体中的成分比率的另一种方法是通过在不同时间以不同速率引入具有不同成分比率的多种催化剂。例如，可以在腔中以大致相同位置或者不同位置引入多种催化剂。在不同位置引入时，在腔内形成的等离子体会有由不同催化剂位置决定的成分浓度梯度。因此，自动化系统可包括用于在等离子体激发、调节和/或维持以前和/或期间机械插入可消耗等离子体催化剂的装置。

根据本发明的惰性等离子体催化剂也可以被涂覆。在一个实施例中，催化剂可以包括沉积在基本导电材料表面的基本不导电涂层。或者，催化剂可包括沉积在基本不导电材料表面的基本导电涂层。例如图 4 和 5 表示了包括内层 145 和涂层 150 的纤维 140。在一个实施例中，为了防止碳的氧化，等离子体催化剂包括涂覆镍的碳芯。

一种等离子体催化剂也可以包括多层涂层。如果涂层在接触等离子体期间被消耗，该涂层可以从外涂层到最里面的涂层连续引入等离子体，从而形成限时释放 (time-release) 机制。因此，涂覆等离子体催化剂可以包括任意数量的材料，只要部分催化剂至少是半导电的。

根据本发明的另一实施例，为了基本上减少或防止辐射能泄漏，等离子体催化剂可以完全位于辐射腔内。这样，等离子体催化剂不会电或磁连接于包括腔的容器、或腔外的任何导电物体。这可以防止在激发口的瞬间放电，并防止在激发期间和如果等离子体被维持可能在随后辐射泄漏出腔。在一个实施例中，催化剂可以位于伸入激发口的基本不导电的延伸物末端。

例如，图 6 表示在其中可以设置有等离子体腔 165 的电磁辐射腔 160。

等离子体催化剂 170 可以延长并伸入激发口 175。如图 7 所示，根据本发明的催化剂 170 可包括导电的末梢部分 180（设置于腔 160 内，但是可稍微伸入腔）和不导电部分 185（基本上设置于腔 160 外）。该结构防止了末梢部分 180 和腔 160 之间的电气连接（例如瞬间放电）。

在如图 8 所示的另一个实施例中，催化剂由多个导电片段 190 形成，所述多个导电片段 190 被多个不导电片段 195 隔开并与之机械相连。在这个实施例中，催化剂能延伸通过在腔中的一个点和腔外的另一个点之间的激发口，但是其电气不连续的分布有效地防止了产生瞬间放电和能量泄漏。

作为上述惰性等离子体催化剂的替换，根据本发明可以使用活性等离子体催化剂。根据本发明使用活性催化剂形成热处理等离子体的方法可以包括在活性等离子体催化剂存在的情况下，使腔中的气体受到频率小于大约 333GHz 的电磁辐射，其产生或包括至少一种电离粒子或电离辐射。应当理解惰性和活性等离子体催化剂都可以用在相同的热处理过程中。

根据本发明的活性等离子体催化剂可以是在电磁辐射存在的情况下能够向气态原子或分子传递足够能量来使气态原子或分子失去至少一个电子的任何粒子或者高能波包。利用源，电离辐射和/或粒子可以以聚焦或准直射束的形式直接引入腔，或者它们可以被喷射、喷出、溅射或者其它方式引入。

例如，图 9 表示辐射源 200 将辐射引入腔 205。等离子体腔 210 可以设置于腔 205 内并允许气体流进口 215 和 216。源 220 可以将电离粒子和/或辐射 225 引入腔 210。可以通过电离粒子可以穿过但屏蔽了对源 220 的辐射的金属屏蔽，来保护源 220 不受辐射源 200 提供的辐射且由其形成的等离子体。如果需要，源 220 可以水冷。

根据本发明的电离辐射和/或粒子的实例可包括 x 射线粒子、 γ 射线粒子、 α 粒子、 β 粒子、中子、质子及其任意组合。因此，电离粒子催化剂可以是带电荷（例如来自离子源的离子）或者不带电荷并且可以是放射性裂变过程的产物。在一个实施例中，在其中形成有等离子体腔的容器可以全部或部分地透过电离粒子催化剂。因此，当放射性裂变源位于腔外时，该

源可以引导裂变产物穿过容器来激发等离子体。为了基本防止裂变产物(如电离粒子催化剂)引起安全危害,放射性裂变源可以位于辐射腔内。

在另一个实施例中,电离粒子可以是自由电子,但它不必是在放射性衰变过程中发射。例如,电子可以通过激发电子源(如金属)来引入腔内,这样电子有足够的能量从该源中逸出。电子源可以位于腔内、邻近腔或者甚至在腔壁上。本领域的普通技术人员可知可用任意组合的电子源。产生电子的常用方法是加热金属,并且这些电子通过施加电场能进一步加速。

除电子以外,自由能质子也能用于催化等离子体。在一个实施例中,自由质子可通过电离氢产生,并且选择性地由电场加速。

多模辐射腔

辐射波导管、腔或室被设置成支持或便于至少一种电磁辐射模的传播。如这里所使用,术语“模”表示满足 Maxwell 方程和可应用的边界条件(如腔的)的任何停滞或传播的电磁波的特殊形式。在波导管或腔内,该模可以是传播或停滞电磁场的各种可能形式中的任何一种。每种模由其电场和/或磁场矢量的频率和极化表征。模的电磁场形式依赖于频率、折射率或介电常数以及波导管或腔的几何形状。

横电(TE)模是电场矢量垂直于传播方向的模。类似地,横磁(TM)模是磁场矢量垂直于传播方向的模。横电磁(TEM)模是电场和磁场矢量均垂直于传播方向的模。中空金属波导管一般不支持辐射传播的标准 TEM 模。尽管辐射似乎沿着波导管的长度方向传播,它之所以这样只是通过波导管的内壁以某一角度反射。因此,根据传播模,辐射(例如微波辐射)沿着波导管轴线(通常指 z 轴)具有一些电场成分或者一些磁场成分。

在腔或者波导管中的实际场分布是其中模的叠加。每种模可以用一个或多个下标(如 TE_{10} (“Tee ee one zero”))表示。下标一般说明在 x 和 y 方向上含有多少在导管波长的“半波”。本领域的普通技术人员可知波导管波长与自由空间的波长不同,因为波导管内的辐射传播是通过波导管的内壁以某一角度反射。在一些情况下,可以增加第三下标来定义沿着 z 轴在驻波形式中的半波数量。

对于给定的辐射频率，波导管的尺寸可选择得足够小以便它能支持一种传播模。在这种情况下，系统被称为单模系统（如单模辐射器）。在矩形单模波导管中 TE_{10} 模通常占主导。

随着波导管（或波导管所连接的腔）的尺寸增加，波导管或辐射器有时能支持附加的高阶模，形成多模系统。当能够同时支持多个模时，系统往往表示为被高度模化（highly moded）。

一个简单的单模系统具有包括至少一个最大和/或最小的场分布。最大的量级很大程度上依赖于施加于系统的辐射的量。因此，单模系统的场分布是剧烈变化和基本上不均匀的。

与单模腔不同，多模腔可以同时支持几个传播模，在叠加时其形成混合场分布形式。在这种形式中，场在空间上变得模糊，并因此场分布通常不显示出腔内最小和最大场值的相同强度类型。此外，如下的详细说明，可以用一个模混合器来“混合”或“重新分布”模（如利用辐射反射器的机械运动）。这种重新分布有望提供腔内更均匀的时间平均场分布。

根据本发明的多模处理腔可以支持至少两个模，并且可以支持多于两个的多个模。每个模有最大电场矢量。虽然可以有两个或多个模，但是只有一个模占主导并具有比其它模大的最大电场矢量量级。如这里所用的，多模腔可以是任意的腔，其中第一和第二模量级之间的比率小于约 1:10，或者小于约 1:5，或者甚至小于约 1:2。本领域的普通技术人员可知比率越小，模之间的电场能量越分散，从而使腔内的辐射能越分散。

热处理腔内等离子体的分布非常依赖于所施加的电磁辐射的分布。例如，在一个纯单模系统中只可以有一个电场最大值的位置。因此，强等离子体只能在这一个位置产生。在许多应用中，这样一个强局部化的等离子体会不合需要的引起不均匀等离子体处理或加热（即局部过热和加热不足）。

根据本发明无论使用单或多模处理腔，本领域的普通技术人员可知在其中形成等离子体的腔可以完全封闭或者半封闭。例如，在特定的应用中，如在等离子体辅助熔炉中，腔可以全部密封。参见，例如，共有并同时提

出申请的美国专利申请 No.10/___,___ (Attorney Docket No.1837.0020), 在此引入其整个内容作为参考。然而在其它应用中, 可能需要将气体流过腔, 从而腔必须一定程度地打开。这样, 流动气体的流量、类型和压力可以随时间而改变。这是令人满意的, 因为便于形成等离子体的如氩气的特定气体更容易激发, 但在随后的等离子体处理中不需要。

模混合

在许多热处理应用中, 需要腔内包括基本均匀的等离子体。因此, 根据本发明的一个方面, 多模腔内的辐射模在在一段时间内可以混合或重新分布, 以提供更均匀的辐射场分布。因为腔内的场分布必须满足由腔的内表面设定的所有边界条件, 可以通过改变内表面的任一部分的位置来改变这些场分布。

根据本发明的一个实施例中, 可移动的反射表面位于热处理腔内。反射表面的形状和移动在移动期间可以总体改变腔内表面的反射特性。例如, 一个“L”型金属物体(即“模混合器”)在围绕任意轴旋转时将改变腔内的反射表面的位置或方向, 从而改变其中的辐射分布。任何其它不对称形状的物体也可使用(在旋转时), 但是对称形状的物体也能工作, 只要相对移动(如旋转、平移或两者结合)引起反射表面的位置和方向上的一些变化。在一个实施例中, 模混合器可以是围绕非圆柱体纵轴的轴旋转的圆柱体。

多模热处理腔中的每个模都具有至少一个最大电场矢量, 但是每个矢量会周期性出现在腔内。通常, 假设辐射的频率不变, 该最大值是固定的。然而, 通过移动模混合器使它与辐射相作用, 就可能移动最大值的位置。例如, 模混合器 38 可用于优化热处理腔 12 内的场分布以便于优化等离子体激发条件和/或等离子体维持条件。因此, 一旦激活等离子体, 为了均匀的时间平均等离子体处理(如加热), 可以改变模混合器的位置来移动最大值的位置。

因此根据本发明, 在等离子体激发期间可以使用模混合。例如, 当把导电纤维用作等离子体催化剂时, 已经知道纤维的方向能够强烈影响最小

等离子体激发条件。当这样的纤维取向于与电场成大于 60° 的角度时，例如，催化剂很少能改善或放松这些条件。然而通过移动反射表面进入或接近腔，电场分布能显著地改变。

通过例如安装在辐射器腔内的旋转波导管接头将辐射射入辐射器腔，也能实现模混合。为了在辐射腔内在不同方向上有效地发射辐射，该旋转接头可以机械地运动（如旋转）。结果，在辐射器腔内可产生变化的场形式。

通过柔性波导管将辐射射入辐射腔，也能实现模混合。在一个实施例中，波导管可固定在腔内。在另一个实施例中，波导管可伸入腔中。为了在不同方向和/或位置将辐射（如微波辐射）射入腔，该柔性波导管末端的位置可以以任何合适的方式连续或周期性移动（如弯曲）。这种移动也能引起模混合并有助于在时间平均基础上更均匀的等离子体处理（如加热）。可选择地，这种移动可用于优化激发的等离子体的位置或者其它的等离子体辅助处理。

如果柔性波导管是矩形的，例如，波导管的开口末端的简单扭曲将使辐射器腔内的辐射的电场和磁场矢量的方向旋转。因而，波导管周期性的扭曲可引起模混合以及电场的旋转，这可用于辅助激发、调节或维持等离子体。

因此，即使催化剂的初始方向垂直于电场，电场矢量的重新定向能将无效方向变为更有效的方向。本领域的技术人员可知模混合可以是连续的、周期性的或预编程的。

除了等离子体激发以外，在随后的热处理和其它类型的等离子体处理期间模混合可用来减少或产生（如调整）腔内的“热点”。当腔只支持少数模时（如少于 5），一个或多个局部电场最大值可产生“热点”（如在腔 12 内）。在一个实施例中，这些热点可设置成与一个或多个分开但同时的等离子体激发或热处理相一致。因此，等离子体催化剂可放在一个或多个这些激发或随后的热处理（例如等离子体处理）位置上。

多位置激发

可使用不同位置的多种等离子体催化剂来激发热处理等离子体。在一个实施例中，可用多纤维在腔内的不同点处激发等离子体。这种多点激发在要求均匀等离子体激发时尤其有益。例如，当等离子体在高频（即数十赫兹或更高）下调节，或在较大空间中激发，或两者都有时，可以改善等离子体的基本均匀的瞬态撞击和再撞击。可选地，当在多个点使用等离子体催化剂时，可以通过将催化剂选择性引入这些不同位置，使用等离子体催化剂在等离子体腔内的不同位置连续激发热处理等离子体。这样，如果需要，在腔内可以可控地形成热处理等离子体激发梯度。

而且，在多模热处理腔中，腔中多个位置的催化剂的随机分布增加了如下可能性：根据本发明的至少一种纤维或任何其它惰性等离子体催化剂优化沿电力线取向。但是，即使催化剂没有优化取向（基本上没有与电力线对准），也改善了激发条件。

而且，由于催化剂粉末可以悬浮在气体中，可认为具有每个粉末粒子具有位于腔内不同物理位置的效果，从而改善了热处理腔内的激发均匀性。

双腔等离子体激发/维持

根据本发明的双腔排列可用于激发和维持等离子体。在一个实施例中，系统至少包括激发腔和与激发腔流体连通的热处理腔。为了激发等离子体，为了激发等离子体，激发腔中的气体选择性地存在等离子体催化剂存在的情况下受到频率小于大约 333GHz 的电磁辐射。这样，接近的激发腔和热处理腔可使激发腔中形成的等离子体激发热处理腔中的热处理等离子体，其可用附加的电磁辐射来调节或维持。

在本发明的一个实施例中，激发腔可以非常小并主要或只设置用于等离子体激发。这样，只需很少的微波能来激发等离子体，使激发更容易，尤其在使用根据本发明的等离子体催化剂时。

在一个实施例中，激发腔基本上是单模腔，热处理腔是多模腔。当激发腔只支持单模时腔内的电场分布会剧烈变化，形成一个或多个精确定位的电场最大值。该最大值一般是等离子体激发的第一位置，将其作为安放等离子体催化剂的理想点。然而应该知道，当使用等离子体催化剂时，催

化剂不需要设置在电场最大值之处，而且在大多数情况下，不需要取向于特定的方向。

热处理过程的说明

根据本发明，提供一种或多种等离子体辅助热处理的方法。例如，这些方法可以包括淬火，退火，正火，球化退火，回火，以及这些处理的任意组合，或是用于热处理材料的任何其它过程。

在本发明的示意性实施例中，如上所述，可以通过在等离子体催化剂存在的情况下使气体（例如，由气体源 24 提供）受到辐射（例如微波辐射）而在腔中激发热处理等离子体。如图 1 所示，等离子体激发可以在腔 12 中发生，该腔 12 可以形成在位于微波腔（例如辐射器）14 内部的容器内。可以大致同时地或是在不同的时间将等离子体源气体与用于激发等离子体的辐射一起提供到腔中。

可以通过将附加的辐射提供到腔来调节或维持被激发的等离子体。等离子体高效地吸收辐射，并由此可以通过提供给等离子体的辐射量来精确地控制等离子体的温度。来自等离子体的热也可以高效地传送到物体。例如，在根据本发明的热处理过程中，可以将被热处理的物体暴露于腔中被激发的等离子体。通过这种暴露，来自等离子体的能量可以从等离子体传送到物体。从等离子体传送到物体的能量的量是提供给等离子体的辐射的功率级和物体暴露于等离子体的函数。因此，可以通过调节供给等离子体的辐射量并例如通过控制暴露于等离子体中的物体的总表面积的百分比来精确的控制物体的温度。

可以以任何需要的速率将能量从等离子体传送到物体。例如，可以通过将低功率级辐射提供给等离子体和/或通过限制物体和等离子体之间的暴露量来慢慢地进行物体的加热。但是，通过增加辐射功率级和/或物体暴露于等离子体的量可以增加物体温度增加的速率。

可以通过将物体暴露在等离子体中一段足够长的时间来实现等离子体辅助热处理，以改变物体的至少一种材料特性。因此，通过可变的等离子体暴露来调节物体的温度。在某些临界温度，物体的材料特性可以改变。

物体的温度维持在高于或低于某些临界温度的时间量也可以影响物体的材料特性。因此，在本发明的等离子体辅助热处理过程中，时间和温度是两个可以被控制以便产生一组需要的材料特性的参数。可以使用根据本发明的等离子体辅助热处理过程改变或控制各种材料特性，例如包括硬度，颗粒尺寸，刚度，结晶结构，延展性，弹性，密度，光反射性，电导率，热导率，电子迁移率，磁化率，碳含量以及孔隙率中的至少一种。

图 10 示出了根据本发明的示意性热处理方法 500 的流程图。在步骤 505 中，激发等离子体。如上所述，激发可以包括惰性或活性等离子体催化剂的使用。在步骤 510 中，通过将物体的至少一部分暴露于等离子体，将能量从等离子体传送到物体，并增加物体的温度。在某些情况下，通过暴露于等离子体可以降低物体的温度。例如，在物体的温度已经升高和被激发的等离子体的温度低于物体的温度的过程中，能量可以从物体传送到等离子体。

根据本发明的等离子体辅助热处理过程可以用反馈环控制。例如，反馈环 520 可以用于根据预定的时间 - 温度分布控制一个过程。该分布可以是用户选择的和计算机或人为确定的。例如，虽然在下面描述的方法 500 使用自动控制器以便监视和控制热处理过程，但是用户可以负责进行图 10 所述的一个或多个步骤。回来参考图 1，温度传感器（例如光学高温计）可以用于监视将被热处理的物体的温度。因此，在步骤 530 中，控制器 44（例如计算机）可以读取温度传感器 42 的输出以确定物体的温度或与该过程相关的其它温度。可以对控制器 44 编程以便以任何适合的时间间隔监视温度传感器 42 的输出。例如，小于一秒的间隔可以用于几乎连续的温度监视。使用更长的时间间隔的周期性监视也可以且在某些应用中更适合。

一旦在步骤 530 中确定了温度，控制器 44 就可以在步骤 540 中将测量的温度与预定的时间 - 温度分布比较。如果测量的温度落在时间 - 温度分布外，那么例如可以在步骤 550 中调节辐射源 26 的功率级。例如，如果物体温度太高，那么控制器 44 可以给电源 28 信号以便减小提供给辐射源 26 的功率。提供给辐射源 26 的功率的减小可以减小等离子体的密度。因此，

可以减小等离子体的温度，并因此可以降低物体的温度。相反地，如果测量的温度太低，那么控制器 44 可以给电源 28 信号以便增加提供给辐射源 26 的功率，由此增加等离子体的温度。

也可以通过改变等离子体的暴露在步骤 550 中调节温度。例如，可以将物体的可变化的表面积暴露于等离子体。即，可以通过增加被暴露的表面积（例如相对于等离子体重新设置物体）而更加快速地增加物体的温度。

应当理解，如果在步骤 530 中确定的温度在步骤 540 中的比较后符合温度分布，那么可以在步骤 560 中维持温度。例如这可以通过维持供给辐射源的功率或通过任何其它控制参数，诸如气体流速来实现。

因此，使用根据本发明的等离子体辅助热处理过程中的高度的控制可以实现几乎任何需要的时间 - 温度分布。例如，热处理可以包括简单的将物体加热到某一预定温度或高于某一特定温度，且然后在冷却物体前维持该温度某一时间量。可替换地，等离子体辅助热处理过程可以包括任何数量的目标温度 - 时间循环。例如，可以将物体的温度维持在第一目标温度持续第一时间周期，经过第二时间周期增加或减少到第二目标温度，且可以维持在该第二温度持续第三时间周期。如果需要，该过程可以对于任何数目的目标温度重复进行。应当理解每一个目标温度可以是离散的温度或是温度范围。

根据本发明在预定的时间 - 温度分布中可以包括冷却循环或周期。如上所述，例如，该冷却可以通过减少提供给等离子体的能量的量或通过控制物体暴露于等离子体的量来实现。在某些等离子体辅助热处理过程中，可以按需要例如通过减小等离子体功率或等离子体暴露而快于可能的最大冷却速率来冷却物体。在这些过程中，在步骤 570 中通过利用任何传统技术（例如喷水或浸渍，油浴，气流等）的淬火而冷却该物体。

热处理可以在步骤 580 中的任何时间停止。在某些情况下，该过程可以在物体的温度已经减小到周围环境温度或低于某些非临界温度后结束。在其它情况下，可以熄灭等离子体且可以允许物体自身冷却。但是如果物体冷却得太快，也可以重新开始等离子体并把物体暴露于等离子体。

返回步骤 505, 根据本发明热处理等离子体可以使用等离子体催化剂激发。虽然在不使用等离子体催化剂的情况下也可以激发热处理等离子体, 但是根据本发明存在惰性或活性等离子体催化剂可以减少激发热处理等离子体需要的辐射能量密度。这种减少可以在相对低的辐射能量的量的情况下以被控制的方式产生等离子体, 当物体的敏感部分暴露于热处理等离子体时这是非常有用的。在一个实施例中, 可以使用低于大约 $10\text{W}/\text{cm}^3$ 的时间平均辐射能量 (例如微波能量) 密度来激发等离子体。而且, 可以使用低于大约 $5\text{W}/\text{cm}^3$ 的时间平均辐射能量密度来激发等离子体。有利地, 可以在不使用真空设备的情况下以这些相对低的能量密度来实现等离子体激发。

除了激发, 等离子体催化剂的使用可以有助于控制等离子体辅助热处理过程的任何部分。特别是, 因为等离子体可以是电磁辐射的有效吸收器, 其中电磁辐射包括微波辐射, 用于激发热处理等离子体的任何辐射可以主要并直接地由等离子体吸收。因此, 引入热处理腔中的辐射能量可以少于在产生等离子体的初期被反射的辐射能量。因此, 等离子体催化剂可以用于提高对物体暴露于等离子体的加热速率、物体的温度、或任何其它的等离子体辅助过程的控制。

等离子体催化剂的使用还可以使热处理等离子体的激发在包括小于, 等于或大于大气压的范围的压力下进行。例如, 根据本发明被催化的热处理等离子体不仅可以在总压力小于大气压 (大约 760 托) 的真空环境下, 也可以在大气压或高于大气压的情况下被激发和维持。

根据本发明热处理过程可以在整个物体上或在其任何部分进行。通过选择仅仅热处理物体的一部分, 可以分别控制和改变物体的各个部分的材料特性。例如, 物体的某些部分可以以这种方式被热处理以便显示某一个材料特性 (例如高延展性)。但是, 相同物体的其它部分可以以不同的方式被热处理以便提供其它的, 甚至是相反的材料特性 (如高硬度)。

可以通过从热处理等离子体有效地掩蔽物体的某些区域而实现仅有物体的一部分的选择性热处理。例如, 可以以这种方式构造腔 12 以便防止物

体的某些表面区域暴露于等离子体。如前述的，腔 12 中的辐射模的数量或级别可以与腔的尺寸和结构有关。在腔 12 中将被热处理的物体的存在也可以影响腔中的辐射模中的场分布。用于金属物体上的电磁辐射的垂直入射的边界条件需要表面上的电场为零并在与物体的表面四分之一波长的距离处发生第一最大。因此，如果金属物体的表面和腔的内壁之间的空隙小于辐射的大约四分之一波长，那么很少或没有热处理等离子体可以被维持在这些区域中，且满足该条件的物体的区域将几乎不或根本不经热处理。可以通过腔 12 中的物体的定位，通过构造腔 12 的壁，或通过用于控制物体表面与腔的壁之间的距离的任何其它适合的方法来提供这些“掩蔽的”的表面区域。

用于基本防止物体的特定区域的热处理的第二种方法可以包括相对于腔 12 定向该物体以使物体的至少一部分位于腔中且物体的另一部分位于腔外。腔中的部分将被热处理，且位于腔外的部分将基本不被热处理。

本领域的技术人员应当理解根据本发明的等离子体辅助热处理方法根本不必在腔中发生。而且，在腔中形成的热处理等离子体可以流过孔并在腔外被用于加热物体。

为了在腔 12 中产生或维持基本均匀的时间平均辐射场分布，可以如图 1 所示提供模混合器 38。可替换地，或附加地，物体可以相对于等离子体移动，同时被暴露于等离子体。这种移动可以提供物体的所有表面区域的更均匀的暴露于等离子体，这将导致物体的更加均匀的加热或将有助于物体的某些区域比其它区域更快地加热。

根据本发明在等离子体辅助热处理过程中可以将电势偏压施加给物体。这种电势偏压通过将等离子体中的带电离子吸引到物体可以有助于物体的加热。这种吸引可以促进物体上等离子体的均匀覆盖且有助于物体更均匀的加热。例如，施加给物体的电势偏压可以是 AC 偏压，DC 偏压或脉冲 DC 偏压。偏压的大小可以根据特殊的应用选择。例如，电压的大小可以根据离化种类的吸引的需要速率在 0.1 伏到 100 伏，或者甚至是几百伏的范围内。而且，偏压可以是正的，或是负的。

图 11 表示根据本发明形成用于热处理物体的热处理等离子体喷射的示意性装置 650。装置 650 可以包括在其中形成有腔 655 的容器 657 和用于将气体引入腔 655 的气体源（未示出）。腔 655 至少包括一个在腔壁 665 中形成的孔 660。虽然不是必须的，并且为了示意简单也没有在图 11 中示出，但是也可以包括用于将电磁辐射引入腔 655 中的电磁辐射源和用于缓和等离子体激发、调节和维持条件的等离子体催化剂。在共有并同时提出申请的美国专利申请 No.10/___,___ (Attorney Docket No.1837.0025) 中说明了等离子体喷射的其它方法和装置，在此引入其整个内容作为参考。

根据本发明，腔 655 可以包括导电且基本热绝缘的内表面 670、导电表面 675 和电压源 680，内表面 670 可以与孔 660 接近，导电表面 675 面对表面 670，电压源 680 可以提供表面 670 和 675 之间的电势差。也可以通过经过线圈绕组 676 的电流将磁场 H 提供给等离子体，该线圈绕组可以在容器 657 的外部或内部。

还可以提供在孔 660 处形成等离子体喷射 685 的方法。该方法可以包括（1）使气体流进腔 655 中，（2）由腔 655 中的气体形成等离子体 690，（3）允许至少一部分等离子体 690 通过孔 660 流出腔 655 以在与孔 660 接近的腔 655 外部形成等离子体喷射 685，以及（4）将电势施加在表面 670 和 675 之间和/或使电流流过线圈绕组 676。

表面 670 和 675 之间的电势的施加可以使等离子体 690 加速带电粒子向孔 660 移动。表面 670 和 675 可以设置于容器上，或与容器 657 形成一个整体。可替换地，表面 670 和 675 可以与容器 657 的内部表面隔开。在这种情况下，这些平面可以是悬浮或安装在腔 655 中的板或挡板。可替换地，表面 670 和 675 可以是盘形或环形或是其它任何具有构造成在等离子体腔 655 中使用的合适形状的部件。

可以通过使电流流过线圈 676 产生磁场 H 并施加到等离子体 690。磁场可以在带电粒子上施加偏转力，该带电粒子尽量垂直于磁场移动。因此，等离子体中的带电粒子将不能径向地移出（即垂直于线圈 676 的纵轴），因此邻近线圈 676 的腔 655 的内表面将被很少加热。此外，因为等离子体

将趋向于线圈 676 的轴，所以可以形成更热且更有效的等离子体喷射。

可以在任何时间周期将电势施加在表面 670 和 675 之间，其中任何时间周期包括在等离子体 690 形成之前，在等离子体 690 形成过程中，和在等离子体 690 形成之后。相信在腔 655 中形成等离子体的同时（即当等离子体被调节或维持时）施加电势可以产生非常大的益处。还有，磁场可以在任何时间施加，包括在等离子体形成之前、期间或之后。因此，通过在表面 670 和 675 之间施加电压和施加通过线圈 676 的电流可以变化一种或多种等离子体特性（例如，物理形状，密度等）。

施加的电压可以使表面 670 比表面 675 更正或更负。在一个实施例中，等离子体 690 中原子和分子的带正电离子可以通过对表面 670 施加相对负电压而向表面 670 吸引。因为被负表面 670 吸引的正离子至少将某些动能传送到表面 670，所以表面 670 可以由能经受相对高温（如 1000 度华氏温度和更高）的材料形成。在一个实施例中，该表面可以包括钼，其也是导电的。

在另一实施例中，表面 670 可以包括两层或多层。可以选择在操作面对或接触等离子体 690 的外层经受非常高的温度（虽然不必是导电的）。那么，下层可以是导电的，但不必是能够经受非常高的温度。也可以使用附加层以便提高其热绝缘性和/或导电性。

也可以将电压施加在容器 657 和位于腔 655 外部的工件 681 之间以便通过孔 660 向工件 681 的表面累积等离子体 690。当足够的电流流过工件时，可以通过热阻以及来自带电粒子的增加的动能撞击工件来增加工件的温度。

根据本发明的等离子体辅助热处理过程可以用于处理任何材料，在该材料中可以通过加热的应用而控制或改变一种或多种特性。例如，本发明的等离子体辅助热处理过程可以用于处理钢。

根据本发明的等离子体辅助热处理过程可以用于热处理各种类型的物体。例如，可以处理传动装置、闭锁装置、壳体、发动机部件、汽车部件、制动部件、支撑部件、承载部件、承受摩擦磨损力的部件及其任意组合。

可以通过入口进入腔 12 和通过出口（未示出）离开腔 12 而连续或成批的处理这些物体。此外，输送装置可以用于经由容器入口和出口输送物体通过腔 12。

在前述的实施例中，为了简化说明，各种特征被集合在单个实施例中。这种公开方法不意味着本发明权利要求书要求了比每个权利要求中明确叙述的特征更多的特征。而是，如下列权利要求所述，创造性方面要比前述公开的单个实施例的全部特征少。因此，下列权利要求被加入到该具体实施方式中，每个权利要求本身作为本发明的一个单独的优选实施例。

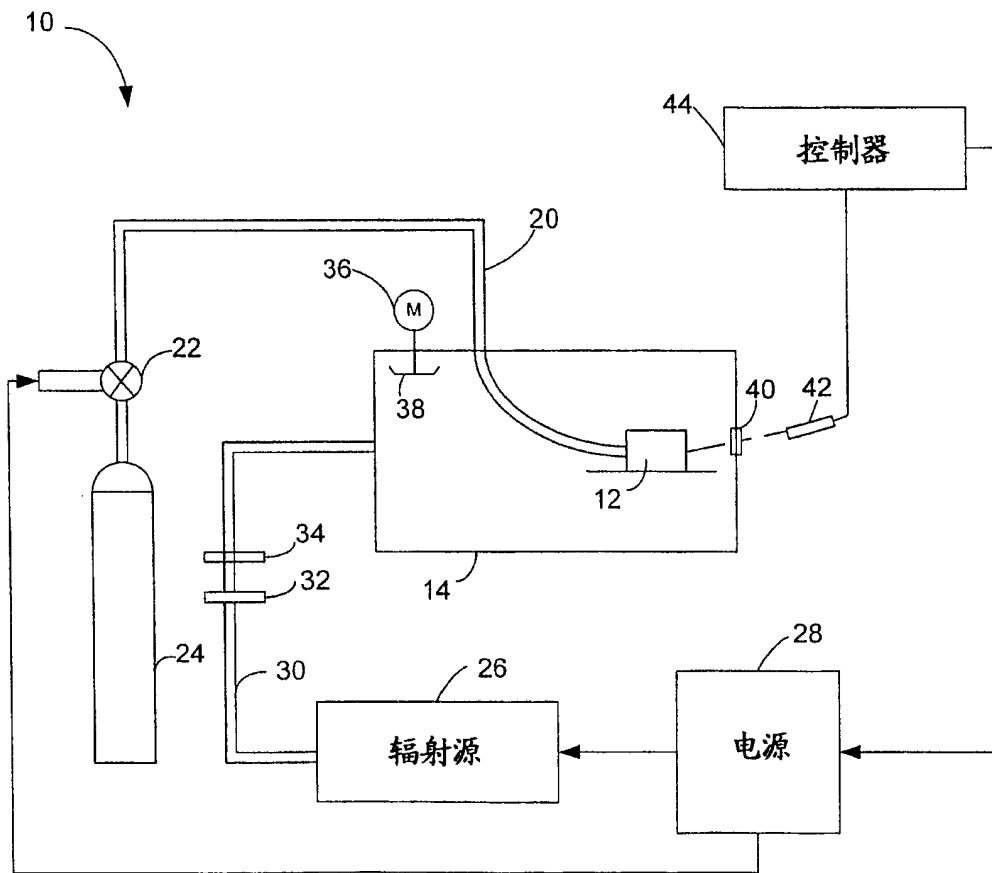


图1

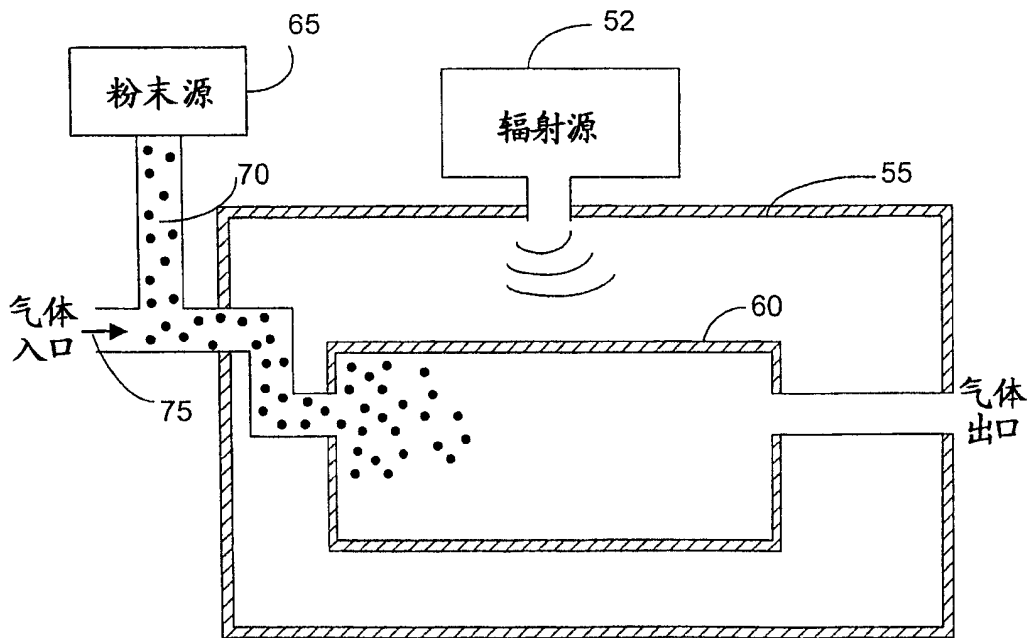


图 1A

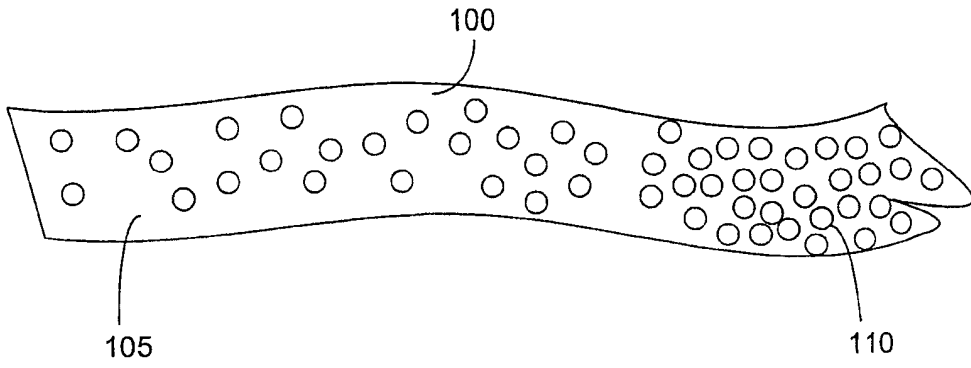


图 2

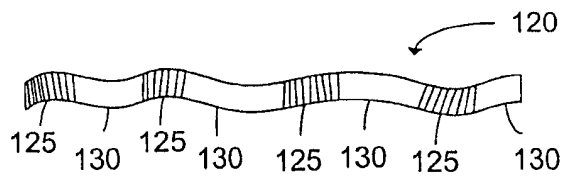


图 3

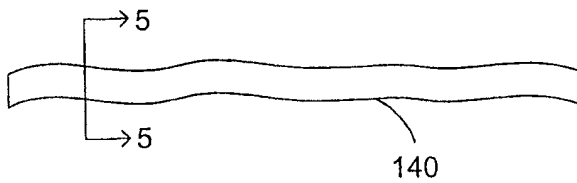


图 4

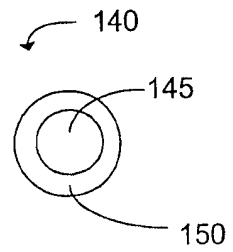


图 5

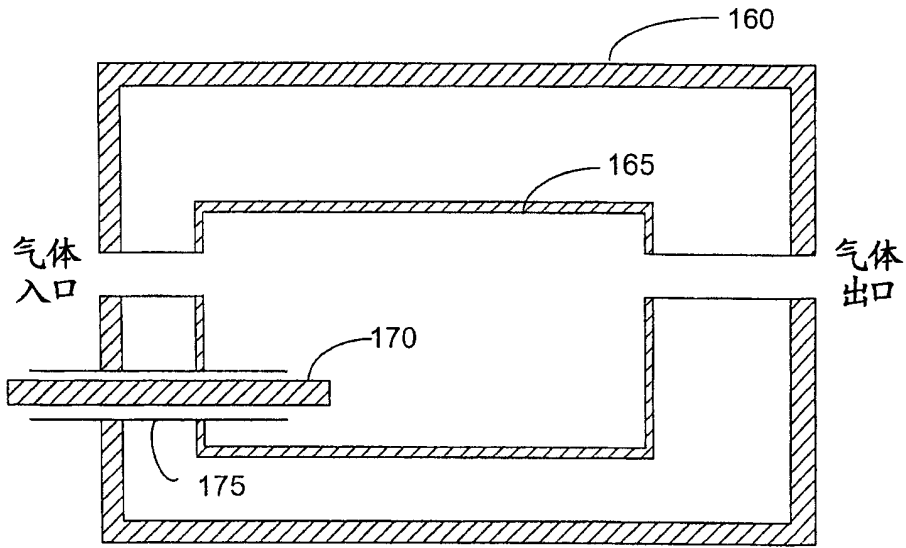


图6

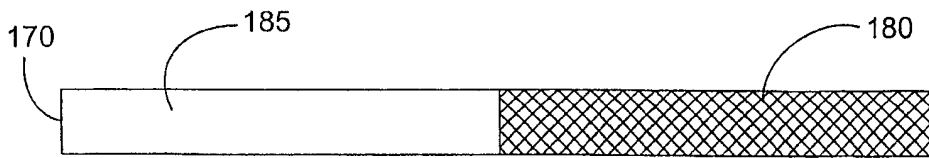


图7

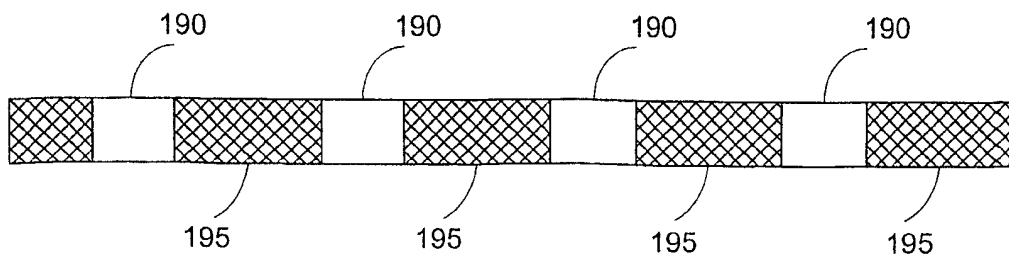


图8

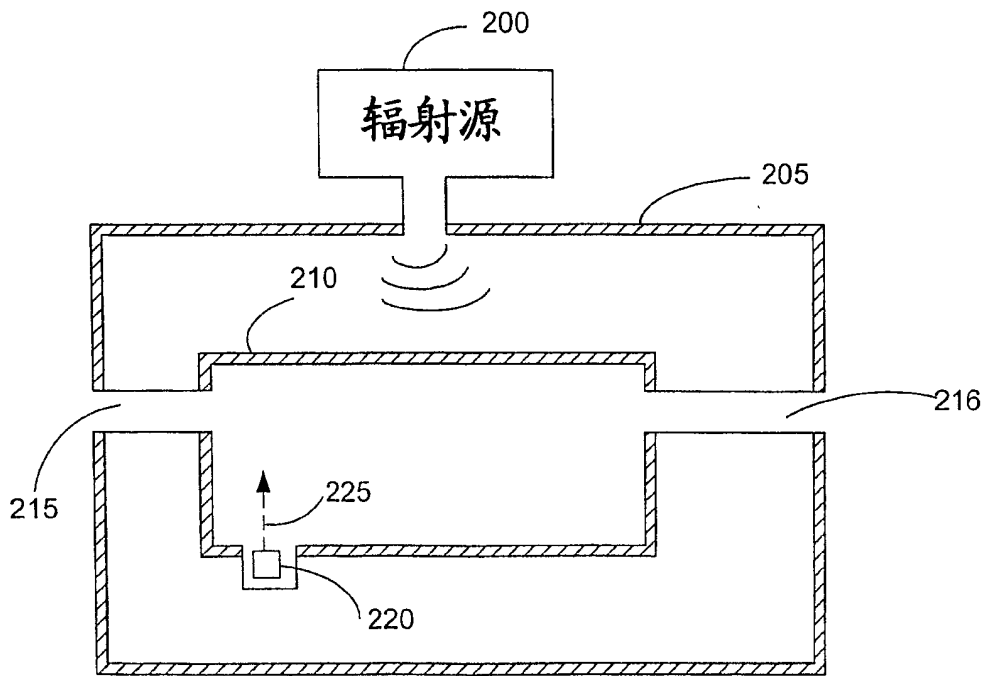


图9

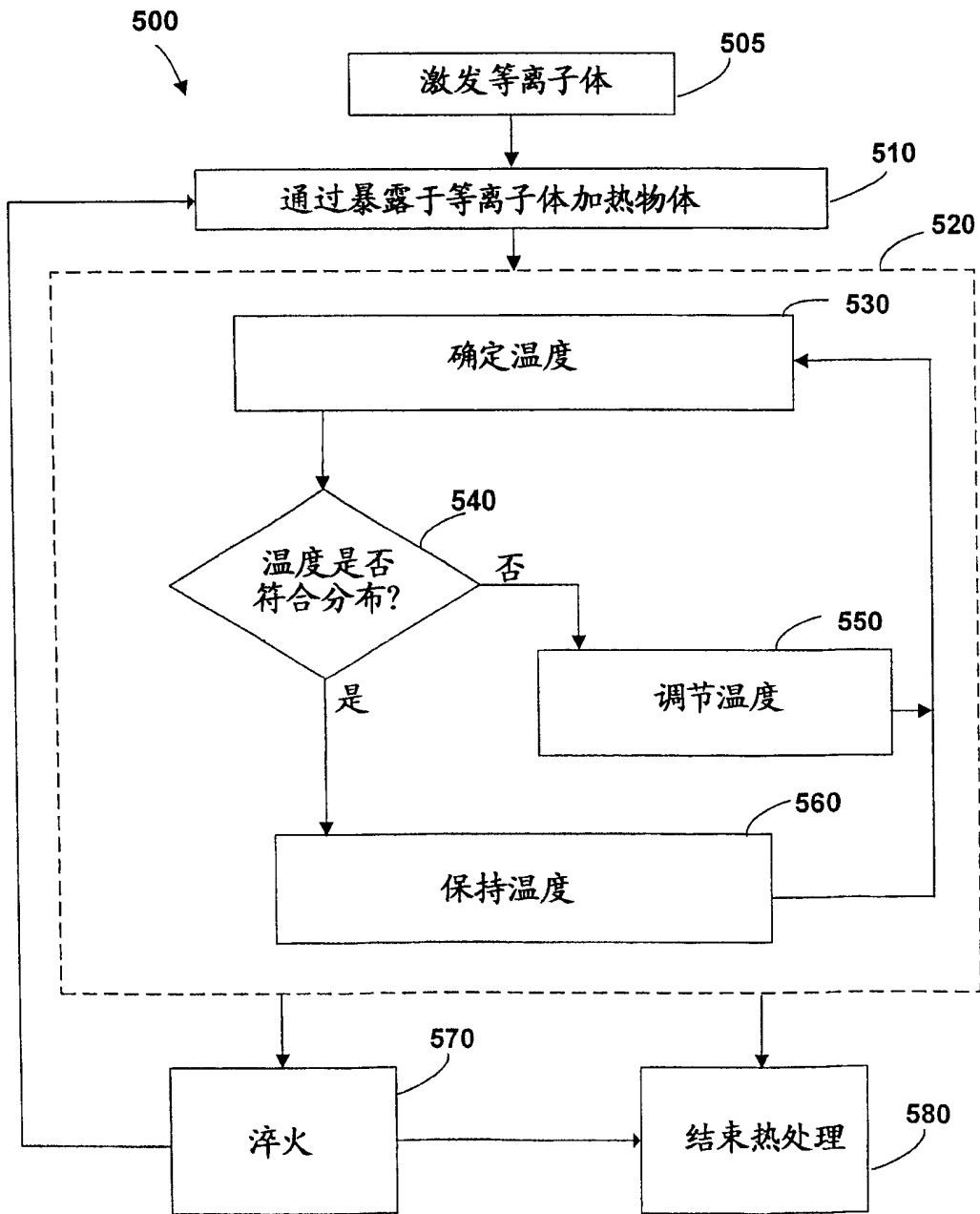


图 10

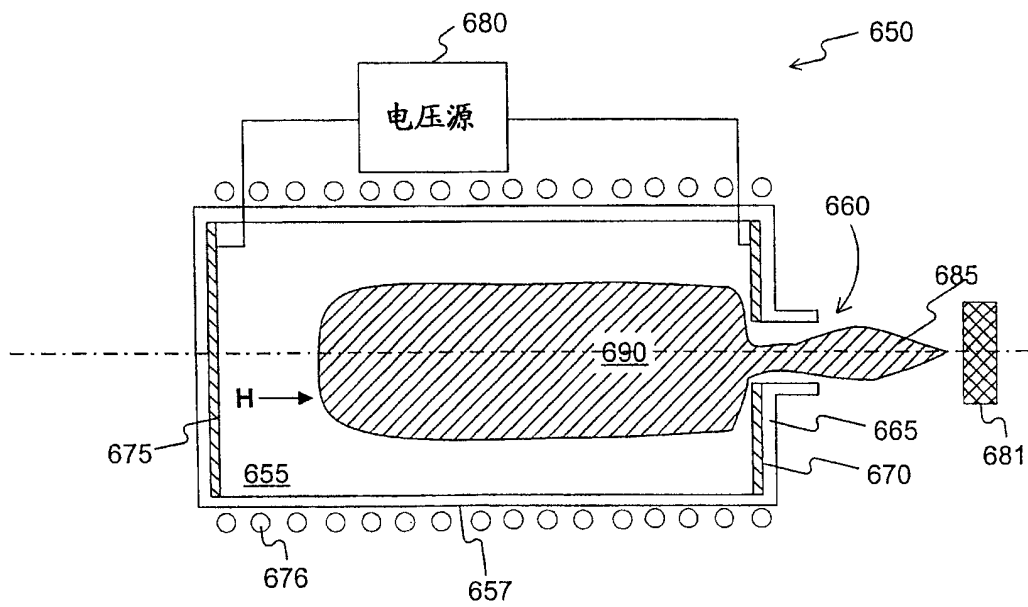


图 11