(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101324470 B
(45)授权公告日 2011.03.30

(21)申请号 200810126886.9
(22)申请日 2002.12.23
(30)优先权数据
60/342,115 2001.12.26 US
(62)分案原申请数据
02825960.2 2002.12.23
(73)专利权人 加拿大马特森技术有限公司
地址 加拿大英属哥伦比亚州温哥华市
(72)发明人 大卫·玛尔科穆·卡穆
沙乌娜·科温
马瑟尔·爱得摩德·莱甫兰克斯
格莱格·司徒亚特
(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
代理人 蔡胜有 顾晋伟
(51)Int.Cl.
G01J 5/10(2006.01)

(56)对比文件
EP 0942268 A1,1999.09.15, 全文.
US 5809211 A,1998.09.15, 全文.
US 5308161 A,1994.05.03, 全文.

审查员 邓泽微

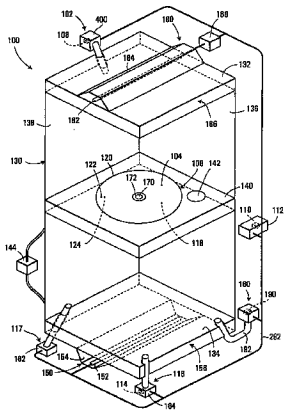
权利要求书 3 页 说明书 28 页 附图 11 页

(54)发明名称

测量温度和热处理的方法及系统

(57)摘要

本发明提供温度测量和热处理的方法及系统。一种方法包括确定工件的第一表面的温度和根据所述第一表面的温度来控制入射在所述工件的第一表面上的照射闪光能量。所述确定可包括在所述照射闪光的初始部分期间确定所述第一表面的温度,并且所述控制可包括控制所述照射闪光的其余部分的功率。所述工件的第一表面可包括半导体晶片的器件侧。



CN 101324470 B

1. 一种热处理工件的方法，所述方法包括：

a) 测量从工件的第一表面热发射的辐射的当前强度，其中所述工件包括半导体晶片，并且所述第一表面包括所述半导体晶片的器件侧；

b) 根据所述当前强度和在相应先前时刻所述第一表面的至少一个先前热属性来确定所述第一表面的当前温度；和

c) 根据所述第一表面的当前温度来控制入射在所述工件的第一表面上的照射闪光的能量。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中所述确定包括在所述照射闪光的初始部分期间确定所述第一表面的温度，并且其中所述控制包括控制所述照射闪光的其余部分的功率。

3. 根据权利要求 2 所述的方法，还包括产生所述照射闪光，其中所述照射闪光的持续时间少于所述工件的热传导时间。

4. 根据权利要求 1 所述的方法，其中所述确定包括在所述第一表面暴露于所述照射闪光时根据从所述第一表面热发射的辐射的所述当前强度的连续相应值反复确定所述第一表面的当前温度的连续值，所述照射闪光的持续时间少于所述工件的热传导时间。

5. 根据权利要求 1 ～ 4 中任一项所述的方法，其中控制所述照射闪光的能量包括降低所述照射闪光的能量输出。

6. 根据权利要求 5 所述的方法，其中所述降低包括使至少一部分电脉冲绕开由所述脉冲产生所述照射闪光的至少一个照射装置。

7. 根据权利要求 1 ～ 4 中任一项所述的方法，其中控制所述照射闪光的能量包括增加所述照射闪光的峰值功率输出。

8. 根据权利要求 7 所述的方法，其中所述增加包括使至少一部分电脉冲绕开与由所述脉冲产生所述照射闪光的至少一个照射装置电连接的电感器。

9. 根据权利要求 2 所述的方法，其中控制所述照射闪光的其余部分的功率包括重定向产生所述照射闪光的电脉冲的至少一部分。

10. 根据权利要求 9 所述的方法，还包括通过关闭第一开关从而开始通过照射装置释放所述照射闪光来启动所述照射闪光，并且其中所述重定向包括关闭第二开关以重定向至少一部分所述电脉冲。

11. 根据权利要求 9 所述的方法，其中所述重定向包括关闭跨接照射装置的开关以使至少一部分所述电脉冲流过所述开关而不流过所述照射装置。

12. 根据权利要求 11 所述的方法，其中所述开关与电阻器串联连接，其中所述开关和所述电阻器跨接所述照射装置，并且其中所述重定向包括关闭所述开关以使至少一部分所述电脉冲流过所述开关和所述电阻器而不流过所述照射装置。

13. 根据权利要求 9 所述的方法，其中所述电脉冲的初始部分沿一次路径前进以产生所述闪光的初始部分，并且其中重定向至少一部分所述电脉冲包括沿着电感低于所述一次路径的二次路径重定向所述电脉冲的其余部分的至少一部分。

14. 一种用于热处理工件的系统，所述系统包括：

a) 温度测量系统，其配置用于确定所述工件的第一表面的当前温度，其中所述工件包括半导体晶片，并且所述第一表面包括所述半导体晶片的器件侧；并且其中所述温度测量系统包括

(i) 配置用于测量从所述工件的所述第一表面热发射的辐射的当前强度的测量装置；和

(ii) 至少一个与所述测量装置通讯的处理器电路，所述至少一个处理器电路配置用于根据所述当前强度和在相应先前时刻所述第一表面的至少一个先前热属性来确定所述第一表面的当前温度；和

b) 照射控制系统，其配置用于根据所述第一表面的当前温度来控制入射在所述工件的第一表面上的照射闪光的能量，其中所述照射控制系统包括可操作用于使所述工件的第一表面暴露于所述照射闪光的照射系统和配置用于控制所述照射系统从而控制所述照射闪光能量的处理器电路。

15. 根据权利要求 14 所述的系统，其中所述温度测量系统配置用于在所述照射闪光的初始部分期间确定所述第一表面的温度，并且其中所述照射控制系统配置用于控制所述照射闪光的其余部分的功率。

16. 根据权利要求 15 所述的系统，其中所述照射系统可操作用于产生持续时间少于所述工件的热传导时间的所述照射闪光。

17. 根据权利要求 14 所述的系统，其中所述温度测量系统配置用于在所述第一表面暴露于所述照射闪光时根据从所述第一表面热发射的辐射的所述当前强度的连续相应值反复确定所述第一表面的温度的连续值，所述照射闪光的持续时间少于所述工件的热传导时间。

18. 根据权利要求 14 ～ 17 中任一项所述的系统，其中所述处理器电路配置用于控制所述照射系统以降低所述照射闪光的能量输出。

19. 根据权利要求 18 所述的系统，其中所述处理器电路配置用于使至少一部分电脉冲绕开由所述脉冲产生所述照射闪光的至少一个照射装置。

20. 根据权利要求 14 ～ 17 中任一项所述的系统，其中所述处理器电路配置用于控制所述照射系统以增加所述照射闪光的峰值功率输出。

21. 根据权利要求 20 所述的系统，其中所述处理器电路配置用于使至少一部分电脉冲绕开与由所述脉冲产生所述照射闪光的至少一个照射装置电连接的电感器。

22. 根据权利要求 15 所述的系统，其中所述照射控制系统与电脉冲发生器和所述照射系统的至少一个照射装置电连接，并且其中所述处理器电路配置用于控制所述照射控制系统以重定向产生所述照射闪光的电脉冲的至少一部分。

23. 根据权利要求 22 所述的系统，其中所述照射控制系统包括第一开关和第二开关，其中所述处理器电路配置用于关闭所述第一开关以开始通过所述至少一个照射装置释放所述电脉冲，并且其中所述处理器电路配置用于关闭所述第二开关以重定向至少一部分所述电脉冲。

24. 根据权利要求 23 所述的系统，其中所述第二开关包括硅控整流器 (SCR)。

25. 根据权利要求 22 所述的系统，其中所述照射控制系统包括跨接所述至少一个照射装置的开关，并且其中所述处理器电路配置用于关闭所述开关以使至少一部分所述电脉冲流过所述开关而不流过所述至少一个照射装置。

26. 根据权利要求 22 所述的系统，其中所述照射控制系统包括串联连接的开关和电阻器，其中所述开关和所述电阻器跨接所述至少一个照射装置，并且其中所述处理器电路配

置用于关闭所述开关以使至少一部分所述电脉冲流过所述开关和所述电阻器而不流过所述至少一个照射装置。

27. 根据权利要求 22 ～ 24 中任一项所述的系统，其中所述电脉冲发生器和所述至少一个照射装置通过一次路径进行电连接以产生所述闪光的初始部分，并且其中所述处理器电路配置用于控制所述照射控制系统以使所述电脉冲发生器和所述至少一个照射装置通过电感低于所述一次路径的二次路径进行电连接。

28. 一种用于热处理工件的系统，所述系统包括：

a) 用于测量从所述工件的表面热发射的辐射的当前强度的测量装置，其中所述工件包括半导体晶片，并且所述表面包括所述半导体晶片的器件侧；

b) 根据所述当前强度和在相应先前时刻所述表面的至少一个先前热属性来确定所述表面的当前温度的装置；和

c) 用于根据所述表面的当前温度来控制入射在所述工件的表面上的照射闪光的能量的装置。

测量温度和热处理的方法及系统

[0001] 本申请是 2002 年 12 月 23 日提交的申请号为 02825960.2、名称为“测量温度和热处理的方法及系统”的中国专利申请的分案申请。本申请要求 2001 年 12 月 26 日提交的美国专利申请系列号 60/342,115 的优先权，该专利申请并入本文作为参考。

技术领域

[0002] 本发明涉及测量温度的方法和系统。本发明还涉及热处理工件的方法和系统。

背景技术

[0003] 在一些应用中，必须测量其温度难以直接测量的工件的温度。例如，当工件是半导体晶片时，尽管晶片衬底侧的温度常常可以直接测量，但是精确地直接测量晶片的器件侧温度是不可能的，因为器件侧上器件的不均匀构图产生沿着器件侧不同位置上散射和发射性的明显变化，导致明显的温度测量误差。

[0004] 过去，这并不造成明显的问题，因为许多快速热处理循环涉及加热晶片的衬底侧，与通过晶片的热传导相比（通常为 10-15 毫秒），其加热或升温速度更慢，在器件侧上给定位置的温度可以假定等于衬底侧上相应的相对位置的温度，由这样的假设产生的误差对于实现那时可以应用的性能要求并不重要（其现在迅速变得过时）。

[0005] 但是，这些传统技术不能产生足够浅的结点，以符合当前的和未来的工业要求。解决这一难题的新技术公开在未决 PCT 申请公开 WO02/47143 和 WO 02/47123（它们并入本文作为参考），并且这种新技术涉及用比通过晶片的热传导速度慢的升温速度照射衬底侧来预热整个晶片到某一中间温度，然后通过照射器件侧用远高于热传导速度的速度加热晶片的器件侧。作为任意的实例，晶片可以预热到例如 800℃的中间温度，例如用弧光灯以例如 400℃ / 秒的速度照射衬底侧。然后将器件侧暴露于来自闪光灯的高强度闪光，例如 1 毫秒的闪光，仅仅将器件侧加热到例如 1300℃的退火温度。由于在闪光过程中器件侧的快速加热速度（在 10^5℃ /s 数量级），晶片本体保持在中间温度，并且作为散热器，然后在闪光之后冷却器件侧。

[0006] 为了减小晶片之间的性能变化，重要的是保证每个晶片经历一致的可重现的热过程，从一个晶片到另一个晶片尽可能经历相同的过程。为此目的，希望的是精确测量闪光过程中晶片器件侧的温度，并且使用这样的温度测量进行闪光强度的反馈控制。但是，如上所述，传统的方法不足以为此目的精确地测量器件侧的温度。

[0007] 因此，对于测量工件温度的改进方法和对于热处理工件的改进方法存在需求。

发明内容

[0008] 根据本发明的第一方面，本发明通过提供一种测量温度的方法解决了上述需求。该方法包括测量来自工件第一表面发出的热辐射的当前强度。该方法还包括根据当前强度和在各个先前时刻第一工件的至少一个先前热属性来确定第一表面的当前温度。

[0009] 所述的工件可以包括半导体晶片。如果是这样，第一表面可以包括晶片的器件侧，

第二表面可以包括晶片的衬底侧。在这样的例子中，确定过程可以包括当器件侧受到照射时，更具体地，当器件侧暴露于闪光时间小于晶片的热传导时间的照射闪光时，确定器件侧的当前温度。照射闪光的照射时间小于 10 毫秒，例如在 1 毫秒数量级的照射时间。

[0010] 该方法可以包括在先前时刻确定第一表面的至少一种先前热属性。所述至少一种先前热属性可以包括第一表面的先前温度，例如在照射闪光的直接在先开始时晶片器件侧的先前温度。所述至少一种先前热属性还可以包括在照射闪光的直接在先开始时由器件侧发射出的热辐射的先前强度。

[0011] 因此，所述的确定可以包括根据当前强度、第一表面的先前温度、和先前时刻由第一表面发出的热辐射的先前强度，确定第一表面的当前温度。

[0012] 第一表面的先前温度可以根据工件的第二表面的先前温度来确定，该第二表面的先前温度不等于第一表面的先前温度。如果这样，第一表面温度可以根据先前的第二表面温度和工件的温度历史来确定。例如，第二表面的先前温度和温度历史可以用来查找查表表格记录。

[0013] 所述方法还可以包括在先前时刻确定第二表面的先前温度。例如，第二表面的先前温度可以根据第二表面的半球反射率来确定。

[0014] 所述方法还可以包括测量半球反射率。这可以包括在位于距离第二表面足够远的检测器处接受第二表面反射的辐射，以避免将第二表面与其中放置工件的系统的其它器件的视场隔断。类似地，这可以包括在距离第二表面中心一定距离的检测器处接受第二表面反射的辐射，该距离至少与工件的最大尺寸的一半一样大。

[0015] 测量第二表面的半球反射率可以包括测量第二表面的定向反射率，并且然后可以包括向该定向反射率应用散射校正，以获得半球反射率。该方法还可以包括产生散射校正。

[0016] 第二表面的先前温度可以根据第二表面的半球散射率和第二表面发出的热辐射进行确定。

[0017] 所述方法还可以包括重复确定并储存在连续的各个时刻第二表面的先前温度的连续值，以产生工件的温度历史。

[0018] 所述方法还可以包括根据由第一表面发出的热辐射的当前强度的连续的各个值来反复确定第一表面当前温度的连续值。在第一表面被照射时，或者更具体地当第一表面暴露于持续时间小于工件的热传导时间的照射闪光时，可以反复地确定这样的值。

[0019] 测量由第一表面发出的热辐射的当前强度包括测量入射在第一表面上的照射光谱具有可以忽略不计的强度的波段。该方法可以包括从入射到第一表面上的照射光谱中去除所述波段。

[0020] 类似地，测量第二表面的定向反射率可以包括测量其中入射到第二表面上的加热照射光谱具有可以忽略不计的强度的照射波段中的反射强度。该方法还可以包括从加热照射光谱中去除所述照射波段。

[0021] 根据本发明的另一个方面，提供一种热处理工件的方法。该方法例如包括诸如与本发明的在先方面相关进行描述的测量温度的方法。所述方法还包括根据第一表面的当前温度控制入射在工件第一表面上的照射闪光的功率。这可以包括控制向可以产生照射闪光的至少一个照射源提供的功率。控制功率可以包括只有第一表面的当前温度小于预定阈值时开启多个照射源之一。

[0022] 根据本发明的另一个方面，提供了一种温度测量系统。该系统包括一种测量装置，其被构造用于测量由工件第一表面发射的热辐射的当前强度。该系统还包括与该测量装置相连的至少一个处理器电路，所述至少一个处理器电路被配置用于根据所述当前强度和第一表面的至少一种先前热属性来确定第一表面的当前温度。

[0023] 所述系统可以包括各种测量装置，例如成像装置和辐射计，例如本文更详细描述的。例如，这样的器件可以包括高速 InGaAs 光电二极管和 / 或光电二极管阵列。所述至少一个处理器电路可以被配置与该系统的各种装置配合，以进行本文所述的方法。

[0024] 根据本发明的另一个方面，提供一种热处理工件的系统。该系统包括如上所述的温度测量系统，还包括照射系统，其可以用于使工件的第一表面暴露于其上入射的照射闪光。所述至少一个处理器电路配置用于根据第一表面的当前温度来控制照射闪光的功率。

[0025] 根据本发明的另一个方面，提供一种温度测量系统。该系统包括测量由工件第一表面发出的热辐射的当前强度的装置。该系统还包括根据该当前强度和在各个先前时刻第一表面的至少一种先前热属性来确定第一表面的当前温度的装置。

[0026] 该系统还可以包括实现本文公开的各种功能的装置。

[0027] 根据本发明的另一个方面，提供一种热处理工件的系统。该系统包括如上所述的装置，还包括根据第一表面的当前温度控制入射在工件第一表面上的照射闪光的功率的装置。

[0028] 本发明的某些具体实施例可以提供在闪光过程中获得晶片器件侧的精确测量温度的方法。这些精确测量温度然后可以根据要求用于闪光功率的反馈控制，以保证从一个晶片到另一个晶片的闪光以及所产生的退火过程的一致性。作为一种替代方案，即使这样的温度测量不用于反馈控制，它们可以用于确定假定一致的热过程之间发生的系统“漂移”或不一致性。在早期阶段确定这样的不一致性可以使系统的用户在这些不一致性发展时校正不一致性，而不是只有发现热加工循环的重复性控制差异已经导致晶片之间严重的性能差异时再来处理大量晶片。

[0029] 本发明提供以下实施方案 ：

[0030] 1. 一种测量温度的方法，其包括 ：

[0031] a) 测量从工件的第一表面热发射的当前辐射强度 ；和

[0032] b) 根据所述当前强度和在各个先前时刻所述第一表面的至少一种先前热属性来确定所述第一表面的当前温度。

[0033] 2. 根据实施方案 1 的方法，其中所述工件包括半导体晶片，并且所述第一表面包括所述晶片的器件侧。

[0034] 3. 根据实施方案 2 的方法，其中所述确定包括在所述器件侧受到照射时确定所述器件侧的当前温度。

[0035] 4. 根据实施方案 2 的方法，其中所述确定包括在所述器件侧暴露于持续时间小于晶片热传导时间的照射闪光时所述器件侧的当前温度。

[0036] 5. 根据实施方案 4 的方法，其中所述照射闪光的持续时间小于 10 毫秒。

[0037] 6. 根据实施方案 4 的方法，还包括确定在先前时刻所述第一表面的至少一种先前热属性，其中所述至少一种先前热属性包括在所述照射闪光刚开始之前所述晶片器件侧的先前温度。

[0038] 7. 根据实施方案 6 的方法，其中所述至少一种先前热属性还包括所述照射闪光刚开始之前从所述器件侧热发射的先前辐射强度。

[0039] 8. 根据实施方案 1 的方法，其中所述确定包括根据所述当前强度、所述第一表面的先前温度和在先前时刻从所述第一表面热发射的先前辐射强度来确定所述第一表面的当前温度。

[0040] 9. 根据实施方案 1 的方法，还包括在先前时刻确定所述第一表面的至少一个先前热属性，其中所述至少一个先前热属性包括所述第一表面的先前温度。

[0041] 10. 根据实施方案 9 的方法，其中确定所述第一表面的先前温度包括根据所述工件第二表面的先前温度确定所述先前温度，其中所述工件第二表面的先前温度不等于所述第一表面的先前温度。

[0042] 11. 根据实施方案 10 的方法，其中确定所述第一表面的先前温度包括根据所述第二表面的先前温度和所述工件的温度历史来确定所述第一表面的先前温度。

[0043] 12. 根据实施方案 11 的方法，其中所述工件包括半导体晶片、所述第一表面包括所述晶片的器件侧，并且所述第二表面包括所述晶片的衬底侧。

[0044] 13. 根据实施方案 11 的方法，其中确定所述第一表面的先前温度包括使用所述第二表面的先前温度和所述温度历史以访问查表表格记录。

[0045] 14. 根据实施方案 11 的方法，还包括在先前时刻确定所述第二表面的先前温度。

[0046] 15. 根据实施方案 14 的方法，其中确定所述第二表面的先前温度包括根据所述第二表面的半球反射率来确定所述第二表面的先前温度。

[0047] 16. 根据实施方案 15 的方法，还包括测量所述半球反射率。

[0048] 17. 根据实施方案 16 的方法，其中测量所述半球反射率包括在足够远离第二表面处安置的检测器处接收由所述第二表面反射的辐射，以避免在放置有所述工件的系统其它装置的视场中阻挡所述第二表面。

[0049] 18. 根据实施方案 16 的方法，其中测量所述半球反射率包括在位于离所述第二表面中心一定距离的检测器处接收由所述第二表面反射的辐射，所述距离是所述工件的最大尺寸的至少一半。

[0050] 19. 根据实施方案 16 的方法，其中测量所述半球反射率包括测量所述第二表面的定向反射率。

[0051] 20. 根据实施方案 19 的方法，其中测量所述半球反射率还包括对所述定向反射率施加散射校正，以获得所述半球反射率。

[0052] 21. 根据实施方案 16 的方法，其中确定所述第二表面的先前温度包括根据所述第二表面的半球反射率和所述第二表面热发射的辐射来测量所述第二表面的先前温度。

[0053] 22. 根据实施方案 20 的方法，还包括产生所述散射校正。

[0054] 23. 根据实施方案 14 的方法，还包括在连续相应时刻重复确定和储存所述第二表面的先前温度的连续值，以生成所述工件的温度历史。

[0055] 24. 根据实施方案 1 的方法，还包括根据所述第一表面热发射的当前辐射强度的连续相应值来重复确定所述第一表面的当前温度的连续值。

[0056] 25. 根据实施方案 24 的方法，其中所述重复确定包括在所述第一表面受到照射时重复确定所述第一表面的当前温度的连续值。

[0057] 26. 根据实施方案 24 的方法，其中所述重复确定包括当所述第一表面暴露于持续时间小于所述工件的热传导时间的辐照闪光时重复确定所述第一表面的当前温度的连续值。

[0058] 27. 根据实施方案 1 的方法，其中所述测量包括利用入射在所述第一表面上的照射光谱的强度可忽略不计的波段来测量所述当前强度。

[0059] 28. 根据实施方案 27 的方法，还包括从入射在所述第一表面上的所述照射光谱中去除所述波段。

[0060] 29. 根据实施方案 19 的方法，其中测量所述定向反射率包括利用入射在所述第二表面上的加热照射光谱的强度可以忽略不计的照明波段来测量反射强度。

[0061] 30. 根据实施方案 29 的方法，还包括从所述加热辐照谱中去除所述照明波段。

[0062] 31. 一种热处理工件的方法，所述方法包括实施方案 1 的方法，还包括根据所述第一表面的当前温度来控制入射在所述工件第一表面上的照射闪光的能量。

[0063] 32. 根据实施方案 31 的方法，其中所述控制包括控制施加到可以操作产生照射闪光的至少一个照射源的能量。

[0064] 33. 根据实施方案 31 的方法，其中所述控制包括只有当所述第一表面的当前温度小于预定阈值时激活多个照射源之一。

[0065] 34. 根据实施方案 1、8 ～ 11 和实施方案 13 ～ 33 中任一项的方法，其中所述工件包括半导体晶片并且所述第一表面包括所述晶片的器件侧。

[0066] 35. 一种温度测量系统，包括 a) 测量装置，其配置用于测量从工件的第一表面热发射的当前辐射强度；和 b) 与所述测量装置通信的至少一个处理器电路，所述至少一个处理器电路配置用于根据所述所述当前强度和相应先前时刻所述第一表面的至少一个热属性来确定所述第一表面的当前温度。

[0067] 36. 根据实施方案 35 的系统，其中所述工件包括半导体晶片，并且所述第一表面包括所述晶片的器件侧。

[0068] 37. 根据实施方案 36 的系统，还包括照射系统，其可操作用于照射所述晶片的器件侧，并且其中所述测量装置和所述至少一个处理器电路配置用于当所述器件侧被所述照射系统照射时测量所述当前强度并确定所述器件侧的当前温度。

[0069] 38. 根据实施方案 37 的系统，其中所述照射系统可以操作用于使所述器件侧暴露于持续时间小于所述晶片的热传导时间的照射闪光，并且其中，所述测量装置和所述至少一个处理器电路配置用于测量所述当前强度并确定在所述照射闪光期间的所述当前温度。

[0070] 39. 根据实施方案 38 的系统，其中所述照射系统可以操作用于产生约 10 毫秒或更短持续时间的照射闪光。

[0071] 40. 根据实施方案 38 的系统，其中所述照射系统可以操作用于产生约 1 毫秒持续时间的照射闪光。

[0072] 41. 根据实施方案 38 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于在先前时刻确定所述第一表面的至少一个先前热属性，其中所述至少一个先前热属性包括在所述照射闪光刚开始之前所述晶片器件侧的先前温度。

[0073] 42. 根据实施方案 41 的系统，其中所述至少一个先前热属性还包括在所述照射闪光刚开始之前所述器件侧热发射的先前辐射强度。

[0074] 43. 根据实施方案 35 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于在先前时刻根据所述当前强度、所述第一表面的当前温度和在所述第一表面处于先前温度时所述第一表面热发射的先前辐射强度来确定所述第一表面的先前温度。

[0075] 44. 根据实施方案 35 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于在先前时刻确定所述第一表面的至少一个热属性，其中所述至少一个先前热属性包括所述第一表面的先前温度。

[0076] 45. 根据实施方案 44 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于根据所述工件的第二表面的先前温度来确定所述第一表面的先前温度，其中所述工件的第二表面的先前温度不等于所述第一表面的先前温度。

[0077] 46. 根据实施方案 45 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于根据所述工件的第二表面的先前温度和所述工件的温度历史来确定所述第一表面的先前温度。

[0078] 47. 根据实施方案 46 的系统，其中所述工件包括半导体晶片，所述第一表面包括所述晶片的器件侧，并且所述第二表面包括所述晶片的衬底侧。

[0079] 48. 根据实施方案 46 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于使用所述第二表面的先前温度和所述温度历史来访问查表表格记录，以确定所述第一表面的先前温度。

[0080] 49. 根据实施方案 46 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于在先前时刻确定所述第二表面的先前温度。

[0081] 50. 根据实施方案 49 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于根据所述第二表面的半球反射率来确定所述第二表面的先前温度。

[0082] 51. 根据实施方案 50 的系统，还包括与所述至少一个处理器电路通信的第二测量装置，其中所述至少一个处理器电路配置用于与所述第二测量装置配合以测量所述第二表面的半球反射率。

[0083] 52. 根据实施方案 51 的系统，其中所述第二测量装置包括配置用于接收由所述第二表面反射的辐射的辐射检测器，所述检测器安置在足够远离所述第二表面处，以避免在系统的其它装置的视场中阻挡所述第二表面。

[0084] 53. 根据实施方案 51 的系统，其中所述第二测量装置包括配置用于接收由所述第二表面反射的辐射的辐射检测器，所述检测器安置在与所述第二表面中心的距离为所述工件最大尺寸的至少一半处。

[0085] 54. 根据实施方案 51 的系统，其中所述第二测量装置包括配置用于测量所述第二表面的定向反射率的检测器。

[0086] 55. 根据实施方案 54 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于对所述定向反射率施加散射校正，以获得所述半球反射率。

[0087] 56. 根据实施方案 51 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于根据所述第二表面的半球反射率和所述第二表面热发射的辐射来确定所述第二表面的先前温度。

[0088] 57. 根据实施方案 55 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于产生所述散射校正。

[0089] 58. 根据实施方案 49 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于在连续相应时刻重复地确定和储存所述第二表面的先前温度的连续值，以生成所述工件的温度历史。

[0090] 59. 根据实施方案 35 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于根据所述第一表面热发射的当前辐射强度的连续相应值重复地确定所述第一表面的当前温度的连续值。

[0091] 60. 根据实施方案 59 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于在所述第一表面受到辐射时重复地确定所述第一表面的当前温度的连续值。

[0092] 61. 根据实施方案 59 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于在所述第一表面暴露于持续时间小于所述工件的热传导时间的照射闪光时重复地确定所述第一表面的当前温度的连续值。

[0093] 62. 根据实施方案 35 的系统，其中所述测量装置配置用于利用入射在所述第一表面上的照射光谱的强度可以忽略不计的波段来测量所述当前强度。

[0094] 63. 根据实施方案 62 的系统，还包括配置用于从入射在所述第一表面上的所述照射光谱中去除所述波段的滤光装置。

[0095] 64. 根据实施方案 63 的系统，其中所述滤光装置包括插入到所述第一表面和所述照射光谱源之间的水冷窗。

[0096] 65. 根据实施方案 54 的系统，其中所述第二测量装置配置用于测量在照明波段中的定向反射率，在所述照明波段中入射在所述第二表面上的加热照射光谱的强度可忽略不计。

[0097] 66. 根据实施方案 65 的系统，还包括配置用于从所述加热照射光谱中除去所述照明波段的滤光装置。

[0098] 67. 根据实施方案 66 的系统，其中所述滤光装置包括插入到所述第二表面和所述加热照射光谱源之间的水冷窗。

[0099] 68. 一种用于热处理工件的系统，所述系统包括实施方案 35 的系统，并且还包括可以操作用于使所述工件的第一表面暴露于其上入射的照射闪光的照射系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于根据所述第一表面的当前温度来控制所述照射闪光的功率。

[0100] 69. 根据实施方案 68 的系统，其中所述至少一个处理器电路配置用于控制施加到所述照射系统的功率从而控制所述照射闪光的功率。

[0101] 70. 根据实施方案 68 的系统，其中所述照射系统包括多个照射源，并且其中所述至少一个处理器电路配置用于仅当所述第一表面的当前温度小于预定阈值时才激活所述多个照射源之一。

[0102] 71. 根据实施方案 35、43 ～ 46 和 48 ～ 70 中任一项的系统，其中所述工件包括半导体晶片，并且所述第一表面包括所述晶片的器件侧。

[0103] 72. 根据实施方案 35 ～ 70 中任一项的系统，其中所述测量装置包括辐射计。

[0104] 73. 根据实施方案 72 的系统，其中所述辐射计包括高速 InGaAs 光电二极管。

[0105] 74. 根据实施方案 51 ～ 57 和 65 ～ 67 中任一项的系统，其中所述第二测量装置包括成像装置。

[0106] 75. 根据实施方案 74 的系统，其中所述成像装置包括 InGaAs 光电二极管阵列。

[0107] 76. 一种温度测量系统，包括 :a) 用于测量从所述工件的第一表面热发射的当前辐射强度的装置 ;和 b) 用于根据所述当前强度和在相应先前时刻所述第一表面的至少一个先前热属性来确定所述第一表面的当前温度的装置。

[0108] 77. 根据实施方案 76 的系统，还包括用于在先前时刻确定所述第一表面的至少一个先前热属性的装置，其中所述至少一个先前热属性包括所述第一表面的先前温度。

[0109] 78. 根据实施方案 77 的系统，其中所述用于确定所述先前温度的装置包括用于根据所述工件的第二表面的先前温度来确定所述第一表面的先前温度的装置，其中所述第二表面的先前温度不等于所述第一表面的先前温度。

[0110] 79. 根据实施方案 78 的系统，其中用于确定所述第一表面的先前温度的装置包括用于根据所述第二表面的先前温度和所述工件的温度历史 来确定所述第一表面的先前温度的装置。

[0111] 80. 根据实施方案 79 的系统，还包括用于在先前时刻确定所述第二表面的先前温度的装置。

[0112] 81. 根据实施方案 80 的系统，其中用于确定所述第二表面的先前温度的装置包括用于根据所述第二表面的半球反射率来确定所述第二表面的先前温度的装置。

[0113] 82. 根据实施方案 81 的系统，还包括用于测量所述半球反射率的装置。

[0114] 83. 根据实施方案 76 ～ 82 中任一项的系统，其中所述工件包括半导体晶片，并且所述第一表面包括所述晶片的器件侧。

[0115] 84. 一种用于热处理工件的系统，包括实施方案 76 的系统，并且还包括根据所述第一表面的当前温度来控制入射在所述工件的第一表面上的照射闪光的功率的装置。

[0116] 在结合附图阅读本发明具体实施例的以下描述后，本发明的其它方面和特征对于本领域技术人员将变得显而易见。

附图说明

[0117] 在说明本发明实施例的附图中，

[0118] 图 1 是根据本发明的第一实施例用于测量温度和用于热处理工件的系统的透视图，去除了两个垂直的前侧壁。

[0119] 图 2 是图 1 所示系统的快速热处理系统计算机 (RSC)、诊断照明源、成像装置和同步组件的框图。

[0120] 图 3 是图 1 所示系统的快速辐射计的框图。

[0121] 图 4 是图 1 所示系统的超快辐射计的框图。

[0122] 图 5 是图 2 所示的 RSC 的处理器电路执行的标准辐射程序的流程图。

[0123] 图 6 是图 2 所示的 RSC 的处理器电路执行的温度监测和控制程序的流程图。

[0124] 图 7 是由图 2 所示的处理器电路执行的半球反射率程序的流程图。

[0125] 图 8 是图 3 中所示的快速辐射计的处理器电路执行的衬底温度程序的流程图。

[0126] 图 9 是图 4 中所示的超快辐射计的处理器电路执行的实时器件侧温度程序的流程图。

[0127] 图 10 是由图 4 所示的处理器电路控制的闪光灯功率控制电路的电路图。

[0128] 图 11 是根据本发明的第二实施例由图 4 所示的处理器电路控制的闪光灯功率控制电路的电路图。

[0129] 图 12 是根据本发明第三实施例由图 4 所示的处理器电路控制的闪光灯功率控制电路的电路图。

[0130] 图 13 是根据本发明的第四实施例用于测量温度和用于热处理工件的系统的透视图，去除了两个垂直的前侧壁。

具体实施方式

[0131] 参见图 1，根据本发明的第一实施例的温度测量系统一般性地表示在 100 处。在该实施例中，系统 100 包括测量装置，其配置用于测量由工件 106 的第一表面 104 发射的热辐射的当前强度。系统 100 还包括与测量装置 102 相连的至少一个处理器电路。该至少一个处理器电路配置用于根据所述当前强度和在各个在先时刻第一表面的至少一种先前热属性来确定第一表面 104 的当前温度。

[0132] 在该实施例中，所述至少一个处理器电路包括处理器电路 108。在本实施例中，处理器电路 108 位于测量装置 102 的外壳内，尽管作为替代方案，该处理器电路根据需要可以处于测量装置远处。在该实施例中，所述至少一个处理器电路还包括位于快速热处理系统计算机 (RSC) 112 内的处理器电路 110，和位于附加测量装置 116 的外壳内的处理器电路 114。作为一种替代方案，本文所述的各种功能根据需要可以通过单一的处理器电路实现，或者通过本地和 / 或远程处理器电路的其它组合来实现。

[0133] 如本文更详细讨论的，在本实施例中，配置所述的至少一个处理器电路以便在先前时刻确定第一表面 104 的至少一种先前热属性。更具体地，在本实施例中，所述至少一种先前热属性包括第一表面的先前温度。为了实现这一点，在本实施例中，配置至少一个处理器电路，以便根据工件 106 的第二表面 118 的先前温度确定第一表面 104 的先前温度，第二表面的先前温度不等于第一表面 104 的先前温度（尽管作为替代方案，在其它实施例中，第二表面的先前温度可以近似等于第一表面的先前温度，例如在以较慢速度预热工件的情况下）。更具体地，在本实施例中，配置至少一个处理器电路，以便根据第二表面 118 的先前温度和工件 106 的温度历史确定第一表面 104 的先前温度。在本实施例中，还配置所述至少一个处理器电路，以便在先前时刻根据第二表面的半球反射率确定第二表面 118 的先前温度。

[0134] 快速热处理室

[0135] 在本实施例中，系统 100 还用于热处理工件 106。在本实施例中，工件 106 包括半导体晶片 120。更具体地，在本实施例中，晶片 120 是用于半导体芯片如微处理器制造的直径 300mm 的硅半导体晶片。在本实施例中，工件 106 的第一表面 104 包括晶片 120 的上面或器件侧 122。类似地，在本实施例中，工件的第二表面 118 包括晶片 120 的背面或衬底侧 124。

[0136] 在本实施例中，为了进行晶片 120 的这种热处理，将晶片支撑在快速热处理室 130 内，其有效地作为选择性吸收室。在本实施例中，腔室 130 与共同拥有的美国专利 6,303,411（其并入本文作为参考）公开的有些类似，但是包括在工件之上和之下的辐射吸收区。而不是吸收区和反射区的结合。选择性辐射吸收室 130 包括上下选择性辐射吸收壁 132 和 134，以及侧壁，其中的两个表示在 136 和 138 处，另外两个为了图解说明的目的而被去除。在本实施例中，侧壁 136 和 138（以及未示出的其它侧壁）包括镜面反射性金刚石车削的铝表面，但是，它们与上下壁 132 和 134 配合，上下壁包括选择性吸收的水冷窗（下文将更详细讨论），以便有效地在选定波长作为辐射吸收区。

[0137] 在本实施例中，腔室 130 还包括内壁 140，内壁 140 具有其中支持工件 106 和对比工件 142 的各个腔。在本实施例中，工件通过多个石英销（未示出）支持在其腔中。如果希望，石英销可以与支持系统（未示出，不是本发明的一部分）一起提供，用于支持工件，支持方式例如共同拥有的美国临时专利申请中所述的那些，该临时专利申请与本发明大约同时提交，标题为“支持工件和热处理工件的方法和系统”，发明人名字为 Camm、Sempere、Kaludjercic、Stuart、Bumbulovic 和 Rudolph。

[0138] 根据具体用途，内壁 140 可以是辐射吸收性的或反射性的，反射性表面是更节省能量的，但是辐射吸收性表面产生更高的加热均匀性。另外，可以提供在这些极端之间的妥协，例如部分反射性、部分吸收性的表面，如阳极氧化的铝。类似地，如果希望，腔室 130 的各个反射性表面可以用完全或部分辐射吸收性表面代替。腔室的全部表面优选通过冷却系统 144 冷却，在该实施例中，冷却系统包括循环水冷却系统。

[0139] 在本实施例中，对比工件 142 是小的金刚石车削的镜面反射性铝镜。作为一个替代方案，对比工件可以用与晶片 120 类似的硅半导体材料制成，但是在这种情况下，对比工件 142 优选是相对均匀的，并且不包括器件侧。另外，可以替代使用其它类型的对比工件。

[0140] 在本实施例中，系统 100 还包括预热装置 150，用于预热晶片 120。在本实施例中，预热装置 150 包括高强度弧光灯 152 和反射器系统 154，反射器系统布置在腔室 130 的下壁 134 之下。在本实施例中，下壁 134 有效地包括滤光器，通过该滤光器，预热装置 150 的弧光灯 152 和反射器系统 154 可以操作，以便投射电磁辐射来加热晶片 120。更具体地，在本实施例中，下壁 134 包括水冷窗 156。仍然更具体地，在本实施例中，水冷窗 156 包括两个平行隔开的石英片，在其中限定冷却通道，通过该通道，用冷却系统 144 抽送水。

[0141] 由于水往往吸收 1450nm 的红外辐射，并且石英也往往吸收更长波长的红外辐射，所以，水冷窗 156 用于两种主要目的。首先，它作为滤光器，从预热装置产生的照射光谱中去除处于诊断波长的所有辐射，诊断波长在本实施例中为 1450nm。换言之，水冷窗有效使预热装置产生的辐射光谱（或者由工件产生的任何反射）对于系统 100 中的所有测量装置是不可见的，这些测量装置检测处于诊断波长的辐射。其次，它吸收当晶片 120 变热时热发射的红外辐射，从而防止这种辐射反射回到晶片 120 上，导致其在不合适的时刻产生不希望的（和不均匀的）加热，例如在冷却阶段。（在实践中，已经发现少量（例如 3％）由晶片 120 发出的处于 1450nm 诊断波长的辐射可能非故意地被所述窗的上石英片反射回到晶片上，而不是通过上石英片被吸收在两个石英片之间限定的水冷通道中。该后一种作用称为腔室回射，如果希望，可以在系统 100 中采用的各种测量装置的校准中考虑进来）。

[0142] 在本实施例中，系统 100 还包括多个附加测量装置，包括诊断照射源 160 和辐射检测器。更具体地，在本实施例中，辐射检测器包括第二测量装置 116，其在本实施例中包括快速辐射计。类似地，辐射检测器还包括另一种测量装置 117，其在本实施例中包括成像装置 162。一般来说，在本实施例中，诊断照射源 160 和成像装置 162 用来捕捉工件 106 和对比工件 142 的第二表面 118 的图像，以确定工件的半球反射率。热发射和半球反射率测量可以结合，以产生工件第二表面 118 的温度，如以下更详细讨论的。

[0143] 在本实施例中，对比工件相对于工件 106 的平面略微倾斜，诊断照射源 160 和成像装置成一定角度，因此对比工件和工件以最大反射强度的角度向成像装置 162 反射来自诊断照射源的入射辐射。如果希望，诊断照射源 160、成像装置 162 和辐射计 164 可以相对于

晶片 120 的中心区域 170 以等角度布置。这样的结构可以减小诸如本实施例的实施例中的测量误差，其中工件 106 的第二表面 118 不是各向同性地散射 (Lambertian)。但是，作为一种替代方案，装置 160、162 和 164 可以按不同角度布置，代价是当工件不是关于其中心的法线径向对称时增大测量误差。在本实施例中，装置 160、162 和 164 全部被定位以便绕过水冷窗 156，因此水冷窗 156 不过滤由诊断照射源 160 产生的照射辐射，也不过滤由成像装置 162 或快速辐射计 164 接收的辐射。

[0144] 在本实施例中，系统 100 还包括照射系统 180，其可以操作将工件 106 的第一表面暴露于其上入射的照射闪光。更具体地，在本实施例中，照射系统 180 包括闪光灯 182 和反射器系统 184，其直接定位在腔室 130 的上壁 132 上。作为一种替代方案，如果希望，可以使用多个闪光灯，或者其它合适类型的照射装置可以替代闪光灯。在该实施例中，上壁 132 包括水冷窗 186，其类似于以上讨论的水冷窗 156，其作为过滤器，用于从闪光灯 182 产生的照射光谱中去除处于 1450nm 的诊断波长的辐射，和用于吸收来自晶片的该波长热辐射。在本实施例中，照射系统 180 还包括功率控制系统 188，用于向闪光灯 182 提供电能，以产生照射闪光。

[0145] 在本实施例中，在晶片 120 插入腔室 130 中之前，晶片的器件侧 122 经过离子注入过程，其引入杂质原子或掺杂剂到晶片的器件侧的表面区域中。离子注入过程破坏晶片表面区域的晶格结构，留下注入的掺杂剂原子在间隙位置中，这里它们是电惰性的。为了将掺杂剂原子移动进入晶格中的置换位置中而使它们成为电活性的，并修复在离子注入过程中发生的对晶格结构的破坏，必须通过将晶片加热到高温来退火晶片器件侧的表面区域。

[0146] 在本实施例中，根据诸如前述的共同所有的PCT 公开 WO 02/47143 和 WO 02/47123 中所公开的那些方法的方法进行这样的退火。例如，退火方法的第一阶段可以包括将晶片预热到中间温度，速度比通过晶片的热传导时间慢，因此整个晶片被比较均匀地加热到中间温度。在本实施例中，这一预热阶段通过用弧光灯 152 照射晶片的背面或衬底侧 124 来实现，以便将晶片按例如 100℃ / 秒～ 400℃ / 秒的升温速度加热到中间温度，例如 500℃～ 1100℃。在预热阶段后，晶片的上面或器件侧 122 被快速加热到明显更高的退火温度，加热速度远高于通过晶片的热传导时间，因此只有晶片的上面表面区域被加热到最终退火温度，而晶片的本体保持接近较冷的中间温度。在该实施例中，该第二阶段通过将上面表面暴露于来自照射系统 180 的高功率闪光较短的时间来实现，所述较短的时间例如为 1 毫秒数量级。晶片的较冷本体然后作为散射器，以促进上面表面的快速冷却。

[0147] 为了保证这些晶片的充足的热处理，和为了获得在腔室 130 中相继处理的类似晶片的一致性热处理，希望的是在第二阶段过程中，也就是在快速照射闪光过程中，实时监测器件侧的温度，如本文更详细讨论的。在某些情况下，如果照射系统 180 的物理参数往往随时间而变化，则通过使用这种实时的器件侧温度值来控制照射闪光发生时的功率，可以增强热处理的一致性。因此，在本实施例中，配置至少一种处理器电路，以便根据工件 106 的第一表面 104 的当前温度控制照射闪光的功率，如以下更详细讨论的。

[0148] 衬底侧预热装置

[0149] 在本实施例中，弧光灯 152 是 500kW 双水壁氩等离子体弧光灯，可以得自 Vortek Industries Ltd.of Vancouver, British Columbia, Canada。这种弧光灯的一个实例公开在共同所有的 PCT 申请公开 WO 01/54166 中，其并入本文作为参考。与钨丝灯光源相比，这

样的弧光灯为半导体退火提供许多优点，如上述 PCT 公开中所讨论的。对于更大的温度升高，多个弧光灯可以替代单个弧光灯 152。但是，作为一种替代的方案，其它类型的预热装置，包括闪光灯，甚至例如钨丝灯光源或这样的灯源阵列可以作为替代。

[0150] 诊断照明光源

[0151] 在本实施例中，诊断照明光源 160 可以运行以产生诊断波长为 1450nm 的诊断闪光，用于照射晶片 120 和对比工件 142。为此，诊断照明光源 160 包括短弧氙弧灯 190，其具有用于使弧光灯 190 作为闪光灯的脉冲放电供电单元（未示出）和绕过腔室 130 下壁 134 的水冷窗 156 的不相干光纤束 192。来自弧光灯 190 的辐射通过不相干光纤束 192，绕过滤光器水冷窗 156，因此当测量目的要求时，允许诊断波长的辐射用诊断波长的闪光照射晶片 120 和对比工件 142 的衬底侧。但是，作为替代的方案，用于产生这种诊断闪光的任何其它合适的构造可以进行替代。例如，连续的照射光源，如一个或多个钨丝灯，可以与机械快门（未示出）一起使用，其所述机械快门可以操作迅速打开和关闭，以照射晶片和对比工件。如果这样，快门优选是辐射吸收性的并且被冷却。作为进一步的举例说明的实例，处于 1450nm 诊断波长的一个或多个光电二极管或激光二极管可以替代弧光灯 190。

[0152] 成像装置

[0153] 一般来说，在本实施例中，测量装置 117，更具体的是成像装置 162，与至少一个处理器电路相连，该处理器电路配置用于与成像装置配合来测量工件 106 的第二表面 118 的半球反射率。更具体地，在本实施例中，成像装置作为辐射检测器，其配置用于接收第二表面 118 反射的辐射，该检测器位置距第二表面足够远，以避免使第二表面与系统其它装置的视场阻隔，所述其它装置例如快速辐射计 164 和诊断照明光源 160。为此，在本实施例中，成像装置距第二表面 118 中心的距离至少等于工件 106 的最大尺寸的一半。成像装置被配置用来测量第二表面的定向反射率，至少一个处理器电路被配置用于对该定向反射率进行散射校正，以获得半球反射率，如下文更详细讨论的。因此，与测量半球反射率的传统装置相比，成像装置 162 是有优势的，测量反射率的传统装置必需放置得非常靠近被测目标，例如积分半球 (integrating hemisphere)。

[0154] 在本实施例中，成像装置 162 包括红外照相机，其可以操作用来产生工件 106 和对比工件 142 的图像，工件 106 和对比工件 142 都在成像装置 162 的视场内。在本实施例中，红外照相机包括二极管阵列，更具体的是光电二极管焦平面阵列。仍然更具体地，在本实施例中，红外照相机包括 320×256 像素的铟-镓-砷化物 (InGaAs) 二极管阵列，其具有 12bit 的灵敏度。所述照相机还包括聚焦光学系统（未示出），并且还包括中心在 1450nm 的窄带滤光器，因此，该照相机仅对 1450nm 的诊断波长及其附近非常窄的带宽（例如 ±15nm）敏感。因此，在本实施例中，配置成像装置 162 来测量在照射波段中工件的第二表面 118 的定向反射率，在照射波段中，入射在第二表面上的加热照射光谱具有可以忽略不计的强度。在这方面，应该回想系统 100 有效地包括过滤装置，配置过滤装置以便从加热照射光谱中去除照射波段（更具体地，在本实施例中，过滤装置包括夹在第二表面 118 和加热照射光谱源如弧光灯之间的水冷窗 156，因为水冷窗阻断成像装置 162 敏感的 1450±15nm 的整个诊断波段。作为替代方案，其它成像装置，例如其它的二维或一维二极管阵列，或电荷耦合装置 (CCD) 例如可以用来进行替代。

[0155] 参见图 1 和 2，在本实施例中，成像装置 162 与 RTP 系统计算机 (RSC) 112 的数字桢

接收器卡 200 相连，用于将代表工件 162 和对比工件 142 的图像的数字数据传输到 RSC 112 的处理器电路 110。作为替代方案，如果希望，可以放置成像装置与距离 RSC 112 远程并与其相连的单独的处理器电路连通。

[0156] 如果希望，除了使用这样的数字图像数据，以便为了测量其温度而确定工件 106 的半球反射率以外，这样的图像数据还可以用来产生工件 106 的第二表面 118 的实时二维温度图。这些温度图用于确定在整个热过程中工件的加热均匀性。例如，在前述共同所有的美国专利 6,303,411 中更详细地讨论了空间分辨的温度图。

[0157] 在本实施例中，成像装置和诊断照射源 160 还与同步模块 202 连通。

[0158] 同步模块

[0159] 参见图 1 和 2，在本实施例中，同步模块 202 用来使成像装置 162 与诊断照明源 160 同步，以便在用诊断闪光照射时（以及如果希望，则在诊断闪光之前和 / 或之后），使成像装置 162 能产生工件 106 和对比工件 142 的图像。

[0160] 为此，同步模块 202 从成像装置 162 接收视频图像同步信号，根据该信号，产生具有可调节的延迟的脉冲信号，以便在希望的时刻启动诊断照明光源 160。如果希望，可以选择不同类型的视频图像同步信号，如复合模拟视频、标准 TTL 视频和 LVDS 差示数字视频。

[0161] 为了根据来自成像装置 162 的视频图像同步信号产生可调节延迟的脉冲信号来启动诊断照明源 160，同步组件 202 包括内部时钟 204，其在本实施例中是 48MHz 时钟，并且能够产生“开”和“关”延迟信号，且可调节的延迟范围为 0-99,999 微秒，分辨率为 1 微秒，延迟精确度优于 40 纳秒。在该实施例中，同步组件 202 产生“开”脉冲信号，以便刚好在成像装置 162 的积分期间开始之前启动诊断照明源 160，以保证当诊断照明源以其最大强度照射工件和对比工件时，成像装置 162 捕捉来自工件和对比工件的反射辐射，从而使所得数字反射率图像的信噪比最大。

[0162] RTP 系统计算机 (RSC)

[0163] 参见图 1 和 2，在图 2 中在 112 处更详细表示了 RTP 系统计算机 (RSC)。在本实施例中，RSC 包括处理器电路 110，其在本实施例中包括微处理器 210。但是，更一般地说，在本说明书中，术语“处理器电路”意欲广义地包括能够执行本文所述功能的任何类型的装置或装置的组合，例如包括（没有限制）其它类型的微处理器、微控制器、其它集成电路、其他类型电路或电路组合、逻辑门或门阵列、或者任何种类的可编程装置，这些可以单独使用或者与其它这类装置组合，它们可以处于相连位置或者相互处于远程。在仔细阅读本说明书时，附加类型的处理器电路对本领域技术人员将是显而易见的，任何这些其它类型的处理器电路的替代都被认为不脱离所附实施方案限定的本发明范围。

[0164] 在本实施例中，微处理器 210 与储存装置 220 相通，其在本实施例中包括硬盘驱动器。储存装置 220 用来储存多个程序，其配置微处理器 210 或为微处理器 220 编程，以实现本文所述的各种功能，包括标准辐射程序 222、半球反射率方案 224、温度检测和控制方案 226、网络同步算法 228。一般来说，处理器电路 110 采用网络同步算法 228 来调节在 RSC112 与系统 100 的各种其它装置之间的网络通信，以保证非决定性等待时间小于 50μs。其余方案在下文更详细讨论。

[0165] 在本实施例中，储存装置 220 还用来储存微处理器 210 接收或使用的各种数据。更具体地，在本实施例中，储存装置 220 包括图像桢储存器 242、温度历史储存器 244 和查表表

格储存器 246，图像桢储存器用于储存数字数据，该数字数据表示由成像装置 162 接收的工件 106 和对比工件 142 的图像，温度历史储存器 244 用于储存由快速辐射计 164 接收的工件温度值，查表表格储存器用于储存微处理器 210 所用的查表表格，以便根据第二表面 118 的温度和工件的温度历史确定工件第一表面 104 的温度，第二表面 118 的温度不等于第一表面的温度。

[0166] 在本实施例中，微处理器 210 还与存储器装置 260 相连，该存储器装置在本实施例中包括随机存取存储器 (RAM)。微处理器 210 使用存储器 260 储存表示各种物理性质的值，所述各种物理性质由微处理器在执行存储装置 220 储存的各种程序过程中使用。更具体地，在本实施例中，这样的程序指示微处理器在 RAM 中确定多个寄存器，包括标准反射率寄存器 264、标准辐射寄存器 266、工件比例寄存器 270、定向反射率寄存器 272、散射值寄存器 274、散射校正寄存器 276、半球反射率寄存器 278、衬底温度寄存器 280、升温速度寄存器 282、以及器件侧温度寄存器 284，这些将在下文中详细讨论。

[0167] 在本实施例中，微处理器 210 与数字桢接收器卡 200 相连，用于接收数字数据，该数字数据代表由成像装置 162 产生的工件 106 和对比工件 142 的红外图像。

[0168] 本实施例的微处理器 210 进一步与输入 / 输出 (I/O) 端口 290 相连，用于与图 1 中所示的系统 100 的各种装置相通，包括快速辐射计 164、测量装置 102、辐射装置 180、预热装置 150、用户输入装置（未示出），如键盘和 / 或鼠标，以及同步组件 202，用来控制诊断照射光源 160 和成像装置 162。在本实施例中，I/O 界面 290 包括光电转换器，用于通过纤维光学网络 192 与这些装置中的至少一些（例如快速辐射计 164 和测量装置 102）相通。在这方面，将会理解的是，这样的光学相通避免了由电磁干扰和电噪音造成的困难，所述电磁干扰和电噪音由预热装置 150 和发光系统 180 所需的大电流和突然放电产生。

[0169] 快速辐射计

[0170] 参见图 1 和 3，在图 3 中的 164 处一般表示了测量装置 116，或者更具体地快速辐射计。一般来说，在本实施例中，快速辐射计 164 接收由工件 106 的第二表面 118 在 1450nm 的诊断波长热发射的电磁辐射，并产生相应的发射率补偿的温度值，该值代表工件第二表面的温度。

[0171] 为了实现这一点，在本实施例中，快速辐射计 164 包括中心大约为诊断波长 1450nm 的窄带滤波器 302，用于阻断诊断波长以外的波长。快速辐射计进一步包括光学组件 304，用于将工件的第二表面 118 的中心区域 170 发出的电磁辐射聚焦在光电二极管 306 的有源元件上，光电二极管 306 在本实施例中包括高速、低噪音 InGaAs PIN 二极管。在本实施例中，中心区域 170 包括晶片 120 的衬底侧 124 中心处直径约 2cm 的区域。

[0172] 光电二极管 306 与放大器 308 相连，放大器 308 在本实施例中包括差动转移阻抗放大器，其具有约 2.5kHz 的 3dB 电带宽。放大器 308 调节和放大来自发光二极管的输出信号，将放大后的信号提供到模数 (A/D) 转换器 310。在本实施例中，A/D 转换器 310 以 25kHz 的过取样速度 (over-sampling rate) 产生放大后的光电二极管信号的 20 比特 (bit) 样品。

[0173] A/D 转换器 310 与快速辐射计 164 的处理器电路 114 相连。处理器电路 114 与第一和第二储存装置相连，第一和第二储存装置在本实施例中包括程序存储器 314 和工作存储器 316。程序存储器储存指令码或程序，后者配置处理器电路 114 以执行各种功能，包括衬底温度程序 318，其指示处理器电路 114 确定晶片 120 的衬底侧 124 的温度，如下文更详

细讨论的。衬底温度程序 318 指示处理器电路 114 在工作存储器 316 中确定多个寄存器，包括半球反射率寄存器 320 和衬底温度寄存器 322。程序存储器 314 可以包括任何合适类型的存储器装置，但是优选的是非易失存储器，如 ROM、EPROM、EEPROM 或 FLASH 存储器。类似地，工作存储器 316 可以包括任何合适类型的存储器装置，如 RAM。

[0174] 处理器电路 114 与输入 / 输出 (I/O) 接口 330，用于与图 1 中所示的 RSC112 的处理器电路 110。在本实施例中，I/O 接口 330 包括光 - 电转换器，用于通过光纤网络 292 与 RSC 相连。如下所讨论的，在本实施例中，快速辐射计 164 每毫秒有效地测量晶片 120 的衬底侧 124 的温度，并将升级的衬底温度值以 1kHz 的速度提供到 RSC。快速辐射计 164 还周期性地接收来自 RSC 的升级的半球反射率值，其与衬底侧热发射强度值结合，以产生衬底温度值。

[0175] 器件侧照射系统

[0176] 返回来参见图 1，一般来说，照射系统 180 可以操作来照射晶片 120 的器件侧 122。测量装置 102 和至少一个处理器电路配置用来测量当前的强度并确定器件侧的当前温度，此时器件侧正被照射系统 180 照射。

[0177] 在本实施例中，照射系统 180 包括图 1 中所示的闪光灯 182（或者根据需要有多个这样的闪光灯）和反射器系统 184。更具体地，在本实施例中，闪光灯 182 包括高强度弧光灯，与上述共同所有的 PCT 申请公开 WO 01/54166 中所公开的类似。

[0178] 在本实施例中，照射系统 180 可以操作以便将器件侧 122 暴露于照射闪光，照射时间小于晶片 120 的导热时间。在本实施例中，晶片的导热时间在 10-15ms 数量级。因此，在本实施例中，照射系统 180 可以操作以便产生持续时间在 10 毫秒或更小数量级的照射闪光。更具体地，在本实施例中，照射系统可以操作以产生持续时间为 1 毫秒数量级的照射闪光。

[0179] 为了实现这一点，在本实施例中，照射系统 180 进一步包括图 1 中所示的功率控制系统 188。更具体地，在本实施例中，功率控制系统 188 作为功率供给系统，并且包括脉冲的放电单元，该单元可以预充电，然后突然放电，以便向闪光灯 182 提供输入功率的“峰值”，来产生系统的照射闪光。更具体地，在本实施例中，脉冲放电单元包括功率供给模块编号 VT-20 脉冲放电单元，其由 Rapp OptoElectronic of Hamburg，Germany 制造，其可以运行在约 0.5-5ms 范围的放电时间内，例如 1 毫秒放电时间，产生最高 60kJ 的脉冲。对于这样的放电，闪光灯 182 可以运行以产生功率输出为 4-6MW、持续时间为 0.5-5ms 的电磁辐射的加热闪光。另外，可以替代使用远远更高的功率供给，例如其可以运行放电 300kJ。更一般地，如果希望，其它加热装置可以替代照射系统 180。

[0180] 在本实施例中，功率控制系统 188 包括插在脉冲放电单元与闪光灯 182 之间的功率控制电路，用于脉冲放电的反馈控制，如下所讨论的。

[0181] 超快速辐射计

[0182] 参见图 1 和 4，测量装置一般性地表示在图 4 中的 102 处。在本实施例中，测量装置 102 包括超快速辐射计 400。一般来说，超快速辐射计作为测量装置，其配置用于测量由工件 106 的第一表面 104 发射的热辐射的当前强度。超快速辐射计还包括与测量装置相连的处理器电路，其配置用于根据所述当前强度和第一表面 104 的至少一种先前热性能来确定第一表面 104 的当前温度，如本文更详细讨论的。更具体地，在本实施例中，配置超快速

辐射计 400 以便与至少一个处理器电路配合，以便在由照射系统 180 产生的快速照射闪光期间确定晶片 120 的器件侧温度。例如，这样的闪光可以具有 1 毫秒数量级的持续时间，并且可以例如将器件侧温度提高数百摄氏度。因此，设计超快速辐射计 400 以具有宽动态范围和超快速时间响应。

[0183] 参见图 1、3 和 4，在本实施例中，超快速辐射计 400 在某些方面（但不是全部）类似于图 3 中所示的快速辐射计 164。因此，超快速辐射计 400 包括 1450nm 的窄带滤波器 402、光学组件 404 和高速 InGaAs PIN 光电二极管 406，它们在本实施例中类似于快速辐射计的相应元件 302、304 和 306。但是，在本实施例中，光电二极管 406 包括集成的热电冷却器 408，用于控制光电二极管 406 的温度在 20 毫开尔文内。

[0184] 将来自光电二极管 406 的输出信号供给到放大器 410。在本实施例中，放大器 410 包括非常低噪音的、高速度差示转移阻抗放大器，其具有 500kHz 的 3dB 电带宽 (electrical bandwidth)。放大器 410 调节和放大光电二极管输出信号，并且将放大后的信号供给到模数 (A/D) 转换器 412。A/D 转换器 412 以 1MHz 的取样速度产生放大的光电二激光信号的 16bit 样品。

[0185] A/D 转换器 412 与超快速辐射计 400 的处理器电路 108 相连。处理器电路 108 与第一和第二存储装置相连，其在本实施例中包括程序存储器 416 和存储器装置 418。程序存储器 416 储存配置处理器电路 108 执行各种功能的程序，包括实时器件侧温度程序 420 和动态校正程序 422。实时器件侧温度程序指示处理器电路 108 在存储器装置 418 中确定多个寄存器和 / 或储存，包括器件侧热发射强度储存 430、初始器件侧温度寄存器 432、初始器件侧热强度寄存器 434、器件侧温度寄存器 436 和器件侧温度值储存 438。

[0186] 在本实施例中，处理器电路 108 与内部参比装置 450 相连。在本实施例中，内部参比装置被热控制并且高度稳定，用来产生校正和参比信号。动态校正程序 422 指示处理器电路 108 根据从内部参比装置 450 收到的校正和参比信号，调节从 A/D 转换器 412 收到的 16bit 样品，以便动态补偿在超快速辐射计的各种电子元件中可能发生的任何无法预测的漂移。

[0187] 在本实施例中，处理器电路 108 还与输入 / 输出端口 460 相连，用于与 RSC 112 的处理器电路 110 相连，以及与图 1 中所示的系统 100 的其他元件相连。具体地，在本实施例中，处理器电路 108 与照射系统 180 的功率控制系统 188 直接相连，以便能使处理器电路 108 根据闪光期间由处理器电路 108 获得的实时器件侧温度值来控制照射系统所产生的照射闪光的功率。在本实施例中，I/O 端口 460 包括光电转换器，其能使这样的连通信号在光纤网络 292 上被传输和接收，从而避免电磁干扰和电噪音的不利影响，这些不利影响在闪光的瞬间附近可能是显著的。

[0188] 在本实施例中，超快速辐射计 400 进一步包括屏蔽 470，以减小这种干扰对超快速辐射计的各种内部元件的影响。

[0189] 再参见图 1，在本实施例中，测量装置，或更具体地超快速辐射计 400，其配置用来测量在入射到第一表面上的照射光谱具有可忽略不计的强度的波带内，来自工件 106 的第一表面 104 的热发射的当前强度。为了实现这一点，在本实施例中，系统 100 有效地包括滤光装置，其配置用来从入射到第一表面上的照射光谱中除去该波带。更具体地，在本实施例中，滤光装置包括插在第一表面 104 与照射光谱源之间的水冷窗 186，照射光谱源在本实施

例中是照射系统 180。在这方面，可以回忆起水冷窗 186 用来传输由闪光灯 182 产生的大部分辐射到晶片 120 的器件侧 122，以加热器件侧，并且同时吸收处于 1450nm 的诊断波长的辐射。

[0190] 相反，由于 1450nm 窄带滤波器 402 的作用，超快速辐射计仅对 1450nm 附近的辐射有响应。所以，超快速辐射计仅检测来自器件侧 122 的热发射，并且不检测由辐射系统产生的和由器件侧反射的任何辐射。水冷窗 186 还用来吸收由器件侧 122 热发射的波长（通常为 1400nm 和更长）处的大部分辐射，从而放置这样的波长被反射回到晶片上，这种反射往往在希望冷却的不合适的时间导致产生器件的不希望的且不均匀的加热。（但是，超快速辐射计可能检测少量“腔室反射”，即由器件侧在诊断波长热发射的辐射的一小部分被窗 186 的下石英片反射回到器件侧，其可能将这种反射的热发射的一小部分再反射到辐射计。如果希望，腔室反射可能要考虑在动态校正程序 422 内）。

[0191] 操作

[0192] 标准辐射程序

[0193] 参见图 1、2 和 5，标准辐射程序表示在图 5 中的 222 处。一般来说，标准辐射程序 222 配置 RSC 112 的处理器电路 110 来计算值 $RATIO_{STD}$，其随后在半球反射率程序 224 过程中由处理器电路 110 用来确定晶片 120 的衬底侧 124 的半球反射率。

[0194] 在执行标准辐射程序之前，把晶片 120 从腔室 130 中取出，并用具有已知反射率 R_{STD} 的标样代替。这样，对于该内部测量，工件 106 包括标样，而不是半导体晶片。在本实施例中，标样是铝晶片，但是，可以替代使用具有已知反射率的任何合适的标样。一旦标样被放在腔室 130 中，就可以执行标准辐射程序。

[0195] 标准辐射程序 222 包括各程序块的指令码，其配置处理器电路 110 来确定和储存希望的值 $RATIO_{STD}$。标准辐射程序 222 用编码的第一程序块 500 开始，其指示处理器电路有效获得标样和参比工件 142 的照射后图像。为了实现这一点，程序块 500 指示处理器电路 110 根据同步模块接收来自如上所述的成像装置 162 的视频同步信号，向图 2 中所示的同步模块 202 发出信号。同步模块产生电脉冲信号，以便刚好在成像装置 162 的积分器件开始之前激活诊断照明源 160，因此该成像装置捕获工件 106（在这种情况下是标样）和参比工件 142 的图像，而这些目标被诊断照射闪光用最大强度照射。成像装置 162 将代表所捕获的标样和参比工件的图像的信号传输到数字桢接收器卡 200。处理器电路 110 接收代表所捕获图像的来自桢接收器卡的数据，并将所接收的数据储存在存储装置 220 中的图像桢储存 242 中。

[0196] 程序段 510 然后指示处理器电路 110 来计算值 $RATIO_{STD}$。在这方面，将会理解的是如果入射在参比工件上的诊断闪光的强度是 I_0，则入射在工件 106 上的诊断闪光的强度是 αI_0，这里 α 是由系统 100 的计和结构确定的常数。因此，对比工件反射强度为 I_0R_{REF} 的诊断闪光，其中 R_{REF} 是参比工件的反射率，类似地，在该情况下为标样的工件 106 反射强度为 αI_0R_{STD} 的诊断闪光。由成像装置 162 产生的，或更具体地由与工件 106 的中心区域 170 相对应的 InGaAs 光电二极管阵列的各个光电二极管和与参比工件 142 对应的光电二极管产生的（或者如果 CCD 替代光电二极管阵列，则由相应的像素产生），在程序块 500 储存在图像桢储存 242 中的数据值，用来计算和储存由工件（在该情况下为标样）反射的强度与由参比工件反射的强度之比，即 $RATIO_{STD} = \alpha I_0R_{STD}/I_0R_{REF} = \alpha R_{STD}/R_{REF}$。程序段 510 然后指示

处理器电路将所得的值 $RATIO_{STD}$ 储存在存储器装置 260 中的标准辐射寄存器 266 中。然后结束标准辐射程序。

[0197] $Ratio_{STD}$ 的上述计算进行一次，并且对于施加于类似晶片的给定组的热循环，通常不需要重新计算，除非系统 100 的物理参数改变（例如在照射表面上的灰尘）。为了确定是否应当重新计算 $Ratio_{STD}$，“校正晶片”或“诊断晶片”（例如，一个没有器件并具有均匀掺杂剂浓度的半导体晶片）可以在系统 100 中周期性进行热循环，并且可以测量所产生的掺杂剂活化（例如通过测量晶片的表面电阻）。另外，其它因素可能表明需要 $Ratio_{STD}$ 的重新计算，例如晶片图像的移动，或者与前一个周期相比，在一个周期中温度测量的剧烈变化。

[0198] 温度检测和控制程序

[0199] 其余程序利用直接或间接得自晶片反射率测量的至少某些信息。由于晶片 120 在低于约 700℃下对 1450nm 的诊断波长不透明性不足以使这样的反射率测量对于许多目的是可靠地精确，因此仅在进行中的热循环范围内描述其余程序，这里晶片达到或超过阈值温度，在该阈值温度，晶片是足够不透明的，使得在诊断波长可以精确进行这样的测量。另外，如果希望，晶片反射率测量可以在更短的波长获得，或者如果希望，为了低温测量的目的，可以预测晶片反射率测量。

[0200] 参见图 1、2 和 6，温度检测和控制程序表示在图 6 的 226 处。一般来说，温度检测和控制程序 226 配置 RSC 112 的处理器电路 110，以控制预加热装置 150 来照射晶片 120 的衬底侧 124，将晶片预热到希望的中间温度，与晶片的热传导时间相比，升温速度慢（作为一个任意的说明性实例，这样的升温循环可以将晶片从室温加热到 800℃，升温速度为 250℃ / 秒）。在达到中间温度时，温度检测与控制程序指示处理器电路控制照射系统 180 启动闪光循环，将晶片 120 的器件侧 122 加热到希望的退火温度，加热速度远高于晶片的热传导时间（作为另一个任意的说明性实例，器件侧可以暴露于 1 毫秒的闪光，将器件侧加热到 1300℃的温度，而晶片的本体保持接近中间温度）。一旦启动闪光循环，闪光循环的其余部分就直接由超快速辐射计 400 在实时器件侧温度程序 420 的指示下进行控制。

[0201] 温度检测和控制程序 226 起始于编码的第一程序块 600，其指示处理器电路 110 控制预热装置 150，或更具体地控制弧光灯 152，以希望的升温速度开始预热工件 106。通常来说，对于硅半导体晶片，希望的升温速度在 100℃ / 秒至 400℃ / 秒范围内，尽管在该范围之外的其他升温速度也可以根据要求替代使用。在本实施例中，由于在约 700℃以下硅对 1450nm 的辐射不是不透明的，预热循环以开路温度循环方式开始，这基于预测的晶片温度，该预测晶片温度预期是由向弧光灯 152 供给预定量的能量而得出的。

[0202] 程序块 602 然后引导处理器电路 110 确定工件 106 的预测温度是否已经达到预定的阈值温度。在本实施例中，当工件是半导体晶片 120 时，预定温度约为 600℃，尽管对于 1450nm 的诊断波长还不是完全不透明的，但是高于该温度，对于测量温度和控制程序的使用，晶片是足够不透明的，以提供适当的信号。（当晶片温度升高超过 700℃时，它对诊断波长变得完全不透明，从而改善系统的精确度）。

[0203] 如果在程序块 602 预测已经达到阈值温度，程序块 604 指示处理器电路 110 开始执行半球反射率程序 224（下文结合图 7 更详细讨论），以便周期性地确定晶片的半球反射率，其又可以由快速辐射计 164 使用以产生晶片的发射补偿温度测量。

[0204] 程序块 606 然后指示处理器电路 110 开始连续接收和储存来自快速辐射计 164 的

温度值，代表在连续的各个时刻工件 106 的第二表面 118（在本实施例中为晶片 120 的衬底侧 124）的连续温度值。每个这样的温度值由快速辐射计 164 的处理器电路 114 产生，如以下结合图 8 更详细讨论的。程序块 606 指示处理器电路 110 在温度历史存储 244 中储存每个这样的接收的衬底温度值以及当前时刻，作为数据对 ($T_{衬底}$, t)，以便有效地产生晶片的温度历史纪录。尽管为了容易说明而将程序块 606 以单一程序块指令码的形式表示在图 6 中，但是在本实施例中，程序块 606 继续指示处理器电路在预热循环的整个过程中以及以后的照射冷却阶段接收和储存这些衬底温度值。

[0205] 程序块 608 然后指示处理器电路 110 转换到闭路预热循环。更具体地，程序块 608 指示处理器电路 110 对于热循环中每个相应的时间点，开始将由快速辐射计接收的衬底温度值与预测的或希望的衬底温度比较，并增大或减小供给到弧光灯的功率，因此减小或消除实际（测量的）衬底温度与希望的或预测的温度的任何偏差。如果要求，闭路预热循环可以包括空间上分辨的照射控制，例如在上述共同所有的美国专利 6,303,411 中所公开的方法的任一种。

[0206] 在程序块 606 和 608 继续执行时，程序块 610 指示处理器电路 110 将最近接收的衬底温度值与闪光循环开始时的预定中间温度进行比较。

[0207] 如果在程序块 610 确定已经达到中间温度，则程序块 612 指示处理器电路 110 在衬底温度寄存器 280 中储存最近接收的衬底温度值 $T_{器件}(t_0)$（如果希望，也可以储存相应的时间值 t_0）。程序块 612 然后指示处理器电路 110 确定工件 106 的第一表面 104 的热性能，或者更具体地，在照射闪光的前述开始时晶片 120 的器件侧 122 的温度。在本实施例中，根据工件的第二表面 118 的温度，确定第一表面 104 的温度，第二表面 118 的温度不等于第一表面 104 的温度。更具体地，根据第二表面 118 的温度和工件 106 的温度历史确定第一表面 104 的温度。更具体地，程序块 612 指示处理器电路 110 使用第二表面 118 的温度和温度历史，在查表表格储存 246 中访问查表表格记录，以确定第一表面 104 的温度。

[0208] 在本实施例中，使用热模型程序（未示出），已经预先计算和储存了储存在查表表格储存 246 中的查表表格，热模型程序在本实施例中包括 TAS 热分析系统软件，得自 Harvard Thermal, Inc. of Harvard, Massachusetts, USA. 为了产生查表表格，为 TAS 程序提供输入数据，在本实施例中包括工件 106 的热性能（例如导热率、热容、热辐射系数）和物理性质（例如厚度），还提供示例组的温度历史值 $T_{历史}$，后者以如上所讨论的一组温度和时间数据点 [$T_{衬底}$(t), t] 提供。在本实施例中，原始提供到 TAS 程序的热辐射系数值首先由实验获得，即加热工件并使其冷却，测量工件冷却时的温度。用 TAS 程序分析冷却速度，并进行参数拟合（用热辐射系数作为参数），以确定辐射能损失与温度的函数关系，由此获得工件的热辐射系数。另外，工件的热辐射系数可以用其它方式获得或预测，或者可以是事先已知的。一旦获得了工件的热辐射系数，则向 TAS 程序提供热辐射系数以及其它输入值（上述的工件的热属性和厚度，以及示例性温度历史值）。

[0209] 根据这样的输入值，TAS 程序的执行在与最终衬底侧温度数据点的时间相同的点产生代表最终瞬时器件侧温度 $T_{器件}$ 的值。从同时的器件侧温度 $T_{器件}$ 中减去相应的瞬时衬底侧温度 $T_{衬底}$，以确定温度校正 ΔT，其通常是负值并且通常在小数至若干摄氏度数量级（例如，如果通过仅照射晶片的衬底侧，将通常的晶片以 150℃ / 秒的升温速度加热到 800℃的中间温度，则 ΔT 值为约 -4.7°，意味着在衬底侧达到中间温度时，器件侧比衬底侧温度低

约 5°)。

[0210] 对于与不同的各种模型热循环相应的显著数量的不同排列的典型温度历史输入数据，然后重复该过程，以产生不同的各种 ΔT 值。例如，在本实施例中，具有 50℃ /s ～ 400℃ /s 的升温速度（与储存的温度历史值中 $T_{衬底}(t)$ 的增大速度对应）、600℃～ 1450℃的最终瞬时衬底温度 $T_{衬底}$、和 0.5 ～ 1.0mm 的晶片厚度的输入数据排列，用来产生查表表格，因此对于在这些范围内的任何值的排列，可以迅速获得相应的温度校正 ΔT。另外，可以替代使用其它范围的输入数据。

[0211] 因此，在本实施例中，在查表表格储存 246 中储存的查表表格有四列（未示出）：第一列为平均升温速度、第二列为刚好在加热闪光之前的最终瞬间衬底侧温度 $T_{衬底}(t_0)$、第三列为工件厚度、第四列为器件侧温度校正 ΔT，其将被加和到最终瞬间衬底侧温度 $T_{衬底}(t_0)$，以产生相应的同时的器件侧温度 $T_{器件}(t_0)$，（另外，如果希望，可以为相应的同时器件侧温度本身提供一列，而不是将温度校正加和到衬底侧温度来产生器件侧温度）。

[0212] 所以，为了在操作中使用预先计算的查表表格，程序块 612 指示处理器电路 110 分析储存在温度历史储存 244 中的衬底温度和时间值对 $[T_{衬底}(t), t]$，并计算平均升温速度（例如设定等于分别在 y 和 x 轴上的 $T_{衬底}(t)$ 与 t 的曲线的线性最佳拟合曲线的平均升温速度），代表晶片的衬底侧 124 升高到中间温度的平均速度。程序块 612 指示处理器电路将平均升温速度储存在升温速度寄存器 282 中。程序块 612 然后指示处理器电路使用在升温速度寄存器 282 中储存的平均升温速度、储存在衬底温度寄存器 280 中的衬底温度值 $T_{衬底}(t_0)$、工件的厚度，访问查表表格，以确定在其前三列中具有匹配值的相应条目或记录的位置。（工件的厚度可以使温度检测和控制程序 226 的指定参数，或者如果希望，可以由系统 100 的用户指定并储存在存储器装置 260 中未示出的单独寄存器中）。在确定这样的匹配记录的位置时，程序块 612 指示处理器电路 110 从所确定的记录的第四列阅读相应的温度校正值 ΔT。程序块 612 指示处理器电路将所确定的 ΔT 值（其在本实施例中通常为负值）与衬底温度寄存器 280 中储存的最终衬底侧温度 $T_{衬底}(t_0)$ 相加，以产生相应的同时瞬间器件侧温度 $T_{器件}(t_0)$。指示处理器电路在器件侧温度寄存器 284 中储存该值。

[0213] 程序块 614 然后指示处理器电路 110 将瞬间器件侧温度 $T_{器件}(t_0)$ 传输到超快速辐射计 400。程序块 614 还指示处理器电路 110 关闭弧光灯 152 来结束预热循环，同时，给照射系统 180 发信号，以开始产生照射闪光，来快速加热晶片 120 的器件侧 122 至希望的退火温度。

[0214] （作为一种替代方案，如果希望，可以指示处理器电路来控制照射系统 180，以便在达到中间温度之前开始向闪光灯 182 供给低电流几分之一秒，使闪光灯准备闪光。但是，与单侧照射预热相比，这样的方法往往减小在查表表格中储存的 ΔT 值的大小，因此，应当调节查表表格来适应这种替代方法）。

[0215] 然后有效地结束温度监测和控制程序 226，随后的器件侧温度监测和闪光强度有超快速辐射计 400 在实时器件侧温度程序 420 的指示下进行控制，如下所讨论的。但是，在本实施例中，处理器电路 110 在以上程序块 606 指示下连续接收和储存衬底侧温度值此后继续进行预定的时间，以便在闪光循环过程中和在闪光循环之后、在晶片冷却时产生和储存连续的衬底温度值。

[0216] 半球反射率程序

[0217] 参见图 1、2 和 7，半球反射率程序表示在图 7 中的 224 处。一般来说，半球反射率程序 224 配置 RSC 112 的处理器电路 110 与测量装置 117 配合，或者更具体地与诊断照射光源 160 配合，以测量工件 106 的第二表面 118 的半球反射率。这样的半球反射率值然后有效地输送到快速辐射计 164，其使用这些值产生晶片 120 的衬底侧 124 的热辐射率补偿的温度测量。

[0218] 半球反射率程序的起始步骤有些类似于以上与图 5 所示的标样辐射程序 222 结合讨论的那些。但是，在执行半球反射率程序之前，从腔室 130 中取出与标样辐射程序结合的以上讨论的标样，并用半导体晶片 120 代替。当晶片处于合适位置时，执行图 6 中所示的温度监测和控制程序 226，导致一旦晶片达到对 1450nm 的诊断波长不透明的足够高的温度，就执行在以上程序块 604 处开始的半球反射率程序。

[0219] 在本实施例中，半球反射率程序 224 开始于编码的第一程序块 700，其指示处理器电路 110 在晶片和参比工件用诊断照射光源 160 照射时，有效地获得晶片 120 和参比工件 142 的衬底侧 124 的图像，其方式类似于以上结合标样辐射程序的程序块 500 所讨论的方式。但是，由于晶片现在是热的，超过约 700℃，因此在诊断照射闪光过程中有成像装置 162 捕获的图像将不仅包括由诊断照射光源产生的反射辐射，而且包括由晶片和参比工件发射的热辐射。因此，为了测量工件的半球反射率，希望的是能够忽略这些热辐射的影响。这可以用许多方法实现。例如，诊断照射光源可以产生足够强大的诊断闪光，使得来自工件的热辐射与所反射的闪光相比，可以忽略不计。在本实施例中，但是，程序块 700 指示处理器电路向同步模块 202 发出信号，以便有效地获得工件和参比工件的一组三个图像。第一个图像直接在开始诊断照射闪光开始之前捕获，第二个图像在诊断照射闪光正在用最大强度照射晶片 120 和参比工件 142 时捕获，第三个图像直接在诊断照射闪光已经停止之后捕获。因此，第一个图像和第三个图像有效地是热辐射强度图像，第二个图像代表热辐射强度加上所反射的诊断照射闪光的强度。一旦一组三个这样的图像已经被处理器电路通过数字桢接收器卡 200 接收到，对于成像装置的光电二极管阵列中的每个光电二极管，就指示处理器电路计算在诊断照射光源关闭时捕获的第一和第三个图像中该光电二极管的数据值的平均值。该平均值代表在捕获第二个图像时热辐射的晶片相应位置处的热辐射的近似强度。所以，从第二个图像中该光电二极管的强度值中减去该平均值，产生晶片 120 和参比工件 142 的校正反射率图像，迄今表示所反射的诊断照射闪光的强度，没有任何热辐射分量。所校正的反射率图像然后储存在图像桢存储 242 中。

[0220] 程序块 710 然后指示处理器电路 110 计算比值，方式类似于与标样比值程序的程序块 510 结合讨论的方式。在这方面，将会回忆起入射到参比工件上的诊断照射闪光的强度为 I_0，因此入射在工件 106 上的诊断闪光的强度是 αI_0，这里 α 是与程序块 500 结合提及的相同常数，并且由系统 100 的几何结构决定。因此，参比工件 142 反射强度为 I_0R_{REF} 的诊断闪光，其中 R_{REF} 是参比工件的反射率，类似地，在该情况下为晶片 120 的工件 106 反射强度为 αI_0R_{WAF} 的诊断闪光。由成像装置 162 产生的，或更具体地由与工件 106 的中心区域 170 相对应的 InGaAs 光电二极管阵列的各个光电二极管和与参比工件 142 对应的光电二极管产生的校正后反射率图像的数据值，用来计算和储存由工件（在该情况下为晶片）反射的强度与由参比工件反射的强度之比，即 $RATIO_{WAF} = \alpha I_0R_{WAF}/I_0R_{RFF} = \alpha R_{WAF}/R_{REF}$。所得的比值然后储存在工件比值寄存器 270 中。

[0221] 程序段 710 然后指示处理器电路确定晶片 120 的定向反射率 R_{WAF}。在这方面，由于 $Ratio_{WAF}/Ratio_{STD} = R_{WAF}/R_{STD}$，然后从所储存的比值（即分别为标样比值寄存器 266 和工件比值寄存器 270 的内容 $RATIO_{STD}$ 和 $RATIO_{WAF}$）和已知的标样反射率解出晶片的定向反射率 R_{WAF}，即 $R_{WAF} = Ratio_{WAF}R_{STD}/Ratio_{STD}$。程序块 710 指示处理器电路 110 将工件的定向反射率 R_{WAF} 储存在定向反射率寄存器 272 中。

[0222] 程序块 720 然后指示处理器电路 110 产生散射校正，并将散射校正应用于定向反射率 R_{WAF}，以获得晶片 120 的衬底侧 124 的半球反射率。

[0223] 在这方面，可以由系统 110 的几何结构和晶片 120 的衬底侧 124 的性质确定或预先确定散射校正。由于衬底侧 124 通常不是理想的镜面反射器，以角度 θ 入射在衬底侧上的辐射将不会完全以角度 θ 反射，而是以 θ ± Δ θ 的角度反射，其中 Δ θ 是镜面反射与实际反射之间的差值。

[0224] 在本实施例中，衬底侧 124 中所关注的基本区域是中心区域 170，其将被映像到成像装置 162 得一组 Γ 二极管上。但是，由于散射，由该中心区域所反射的诊断闪光通常映像到略大的一组Π二极管上，对应于晶片 120 的更大的周围中心区域 172，对于与该更大的周围中心区域 172 相对应的二极管Π中的每一个，由系统 110 的已知几何结构，包括诊断照射光源 160 与成像装置 162 的相对角度，计算唯一的 Δ θ。对于这些二极管的每一个的这种 Δ θ 值可以通过应用标准散射理论获得。

[0225] 例如，当晶片 120 的衬底侧 124 的被照射图像以晶使用诊断照射光源 160 和成像装置 162 获得时（例如以上与程序块 700 结合所述的校正的反射率图像），二极管Π的第 i 个的 Δ θ 值可以计算如下：

[0226] $$\Delta\theta_i = \arctan\left(\frac{d_i}{r}\right)$$

[0227] 这里，d_i 是从图像中最亮的二极管到第 I 个二极管的距离，用“晶片单位”（即实际晶片 120 的尺寸）测量，r 是从晶片到成像装置 162 的有效中心的距离。为了正确计算 d_i，必须将图像尺寸校正到成像区域的正确的 x 和 y 尺寸。因此，如果希望，这样的 Δ θ 值可以预先计算并储存，或者作为替代方案可以由处理器电路 110 在半球反射率程序的程序块 720 的指示下产生。在任一种情况下，在本实施例中，Δ θ 暂时储存在散射值寄存器 274 中。

[0228] 程序块 720 指示处理器电路 110 根据该 Δ θ 值和以上在程序块 700 获得的校正的反射率图像，来产生散射校正。更具体地，当与第 i 个二极管相对应的校正后反射强度数据值标记为 I_i 时，程序块 720 指示处理器电路 110 计算散射校正 S 如下：

[0229] $$S = \frac{\sum_{i\in\Pi}\left(\frac{I_i}{\cos^3\Delta\theta_i}\right)}{\sum_{i\in\Pi} I_i}, \qquad S \geq 1$$

[0230] 上述散射校正是对于弱散射的经验公式。作为替代方案，可以替代使用其它类型的散射校正。如果其它类型的晶片或工件代替晶片 120，这样的替代方案是特别希望的。

[0231] 散射校正 S 然后储存在散射校正寄存器 276 中。程序块进一步指示处理器电路 110 将散射校正应用于定向反射率 R_{WAF}，以获得晶片 120 的衬底侧 124 的半球反射率 R_H，因

为 $R_H = SR_{WAF}$。程序块 720 指示处理器电路 110 将半球反射率 R_H 储存在半球反射率寄存器 278 中。

[0232] 程序块 730 然后指示处理器电路 110 将半球反射率值 RH 传输到快速辐射计 164，用于产生晶片 120 的衬底侧 124 的热辐射率补偿的温度测量，如下结合衬底温度程序 318 所讨论的。但是，尽管快速辐射计 163 的较快取样速度，其每毫秒产生一个新的衬底温度值，半球反射率程序 224 使处理器电路 110 以这样高的速度更新半球反射率值是不必要的。在这方面，将会理解的是，热辐射率（和因此的反射率）随着温度变化稍弱。因此，根据特定用途所要求的精确度，在连续的半球反射率值之间的间隔明显超过在由快速辐射计产生的连续温度值之间的间隔可能是足够的。因此，对于某些用途，以 10Hz 或甚至 1Hz 的速度更新半球反射率值可能是足够的。

[0233] 因此，在执行程序块 730 之后，程序块 740 指示处理器电路 110 确定热循环是否已经结束，如果没有结束，则指示处理器电路等待可接受的更新间隔，例如 100ms 或 1s，然后指示处理器电路返回程序块 700 至 730，以产生新的半球反射率值，如上所述。这样的处理继续进行，直至热循环已经结束并且晶片已经冷却到低于阈值温度（在本实施例中大约为 700℃），因此对于 1450nm 的诊断波长不再是不透明的。

[0234] 衬底温度程序

[0235] 参见图 1、3 和 8，衬底温度程序表示在图 8 中的 318 处。一般来说，衬底温度程序配置快速辐射计 164 的处理器电路 114，来确定工件 106 的第二表面 118 的温度。更具体地，配置处理器电路 114 根据第二表面的半球反射率和由第二表面发射的热辐射来确定第二表面 118 的温度。

[0236] 衬底温度程序开始于编码的第一程序块 800，其指示处理器电路 114 等待接收来自处理器电路 110 的初始半球反射率值 R_H，如上结合半球反射率程序所讨论的。

[0237] 在接受该初始半球反射率值之后，程序块 802 指示处理器电路 114 将所接收的 R_H 值储存在半球反射率寄存器 320 中。

[0238] 程序块 804 然后指示处理器电路 114 测量由晶片 120 的衬底侧 124 发射的热辐射的强度。更具体地，程序块 804 指示处理器电路 114 测量由衬底侧 124 的中心区域以 1450nm 的诊断波长发射的热辐射的强度 $I_{热}(t)$。与以上为了散射目的产生的图像不同，使该测量同步，以便在衬底侧 124 不被诊断闪光照射时进行，因此被辐射计 164 可检测的唯一辐射是由热晶片 120 发射的热辐射。（将会回忆的是，由于水冷窗 156 的作用，由预热装置 150 产生的照射不包括处于诊断波长的波长，因此即使预热装置 150 有效地照射晶片 120，这些照射的任何反射将不会被辐射计 164 检测到）。为了实现这一点，指示处理器电路 114 检测从 A/D 转换器 310 接收的信号，代表光电二极管 306 的放大输出的 20bit 样品，除非由网络 292 接收的同步信号表明诊断照射光源 160 当前在闪光，在这种情况下，这样的热发射的辐射的测量被延迟，直至诊断照明光源被关闭。

[0239] 程序块 806 然后指示处理器电路 114 根据在程序块 804 测量的热辐射强度值和从处理器电路 110 接收的半球反射率值来确定晶片 120 的衬底侧 124 的温度。更具体地，所测量的热辐射强度值 $I_{热}(t)$ 用来计算晶片 120 的衬底侧 124 的中心区域的瞬间温度如下：

[0240]

$$T_{衬底}(t)=\frac{hc}{\lambda k\ln\left(1+\frac{2\pi c^2 h\Delta\lambda\varepsilon_H}{I_{热}\lambda^5}\right)}$$

[0241] 其中：

[0242] $T_{衬底}(t)$ ＝在时间 t 时在中心区域 170 处衬底侧 124 的瞬时温度；

[0243] $I_{热}(t)$ ＝所测量的在时刻 t 时在中心区域 170 处衬底侧 124 发射的热辐射的强度；

[0244] ε_H ＝在诊断闪光的方向上衬底侧 124 的热辐射率，等于 $\kappa(1-R_H)$，其中：

[0245] R_H 是衬底侧的半球反射率，如上所讨论的（可以回忆的是，在执行该程序的所有温度下，晶片对诊断波长是不透明的，因此透射率为零，并且在由半球反射率值获得热辐射率过程中可以忽略不计）；和

[0246] κ 是系统常数，说明在快速辐射计和成像装置之间的腔室反射的差值，对于理想的系统，$\kappa=1$，尽管在本实施例中，其中工件包括 300mm 直径的抛光硅晶片，测量装置是其中所述的那些，$\kappa\approx 0.9$。

[0247] λ ＝测量 $I_{热}(t)$ 的诊断波长（在本实施例中 $\lambda=1450$nm）；

[0248] $\Delta\lambda$ ＝快速辐射计 164 的通带（在本实施例中为 ±15nm）；和

[0249] c、h、k、e ＝分别为光速、普朗克常数、波尔兹曼常数、Euler 准数。

[0250] 程序块 806 然后指示处理器电路 114 将衬底侧温度值 $T_{衬底}(t)$ 传送到 RSC 112 的处理器电路，用于如上文讨论的储存在温度历史储存 244 中。

[0251] 程序块 808 然后指示处理器电路 114 确定是否已经从处理器电路 110 通过网络接收到新的半球反射率值，如果已经接收到，则指示处理器回到程序块 802，将新的反射率值储存在半球反射率寄存器 320 中，并且使用新接收的反射率值继续获得衬底温度值。如果没有接收到新的反射率值，则程序块 810 指示处理器电路 114 确定热循环是否已经结束，如果没有结束，则指示处理器电路回到程序块 804，使用以前接收并储存的半球反射率值继续获得衬底温度值。无论在程序块 808 是否已经接收到新的半球反射率值，在本实施例中，处理器电路 114 每毫秒再执行一次程序块 806，以获得和传输新的衬底温度值。因此，配置处理器电路 114 以便在连续的各个时刻重复不断地确定工件 106 的第二表面 118 的连续的温度值，并将这些值传输到处理器电路 110，后者储存这些值以产生工件的温度历史。这样的衬底温度测量继续进行直至在热处理循环（包括预热循环、闪光循环和随后的冷却阶段）结束之后，并且晶片已经冷却到足够冷的温度，因此它对于 1450nm 的诊断波长不再是不透明的。

[0252] 实时器件侧温度监测和控制程序

[0253] 参见图 1、4 和 9，实时器件侧温度程序表示在图 9 中的 420 处。一般来说，该程序配置超快速辐射计 400 的处理器电路 108，以便根据从第一表面 104 发射的热辐射的当前强度和在各个先前时刻第一表面的至少一种先前热属性，来确定工件 106 的第一表面 104 的当前温度（在本实施例中为 $T_{器件}(t)$）。更具体地，在本实施例中，所述至少一种先前热属性包括第一表面 104 的先前温度、以在第一表面处于该先前温度时由该第一表面发射的热辐射的先前强度。更具体地，在本实施例中，所述至少一种先前热属性包括刚好在照射闪光开

始之前晶片 120 的器件侧 122 的先前温度 $T_{器件}(t_0)$，和刚好在照射闪光开始之前从器件侧发出的热辐射的相应先前强度 $I_{器件}(t_0)$。

[0254] 在本实施例中，指示处理器电路 108 在照射闪光期间以比闪光持续时间快的速度确定这样的当前温度值 $T_{器件}(t)$。因此，在本实施例中，由于 A/D 转换器 412 以 1MHz 的速度对来自光电二极管 406 的放大的信号取样，例如在 1 毫秒闪光过程中可以产生最多 1000 个连续的温度值，每个连续的温度值表示在闪光过程中再下一个连续的 1 毫秒间隔器件侧的温度。如果希望，这样的实时温度值可以用于闪光本身的反馈控制。另外，即使这些实时温度值不用于闪光的反馈控制，它们也可以用于在闪光完成后进行分析，以便能使系统的使用者检测晶片加工过程中任何明显的不一致性。

[0255] 实时器件侧温度程序 420 开始于编码的第一程序块 900，其指示处理器电路 108 连续测量和储存热强度值 $I_{器件}(t)$，其表示在连续的时间瞬间，晶片 120 的器件侧 122 的中心区域 170 所发射的热辐射的强度。而且，在本实施例中，由于 A/D 转换器以 1MHz 的速度对来自光电二极管 406 的放大的信号取样，如果希望，每秒可以储存最多 1 百万个这样的值。指示处理器电路 108 将这样的热强度值和它们的相应时间储存在器件侧热发射强度储存 430 中。

[0256] 程序块 910 指示处理器电路 108 从 RSC112 的处理器电路 110 接受初始的器件侧温度值 $T_{器件}(t_0)$，并在初始器件侧温度寄存器 432 中储存所接收的值。回头参见图 4，可以回想起这个值 $T_{器件}(t_0)$ 代表刚好由照射系统产生的加热闪光开始之前的器件侧温度，并与闪光循环开始几乎同时被发送到处理器电路 108。一旦收到和储存初始器件侧温度值 $T_{器件}(t_0)$，程序块 910 还指示处理器电路 108 在初始器件侧热强度寄存器 434 中储存相应的同时器件侧热发射强度值。

[0257] 因此，几乎与由处理器电路 108 进行的这些初始温度和强度值的储存同时，照射系统开始闪光循环，使晶片 120 的器件侧 122 暴露到具有 1 毫秒数量级持续时间的高能闪光中，由此以比晶片中的热传导速率快得多的速率迅速加热晶片的器件侧 122，使得仅仅在器件侧 122 附近的浅层被加热到最后的退火温度，而晶片 120 的主体保持接近中间温度。

[0258] 程序块 920 和 930 然后指示处理器电路 108 在下一个连续的瞬间（在本实施例中，下一个连续的 1 毫秒间隔）在闪光循环中测量器件侧的温度。

[0259] 为此，程序块 920 指示处理器电路 108 测量和储存实时强度值 $I_{器件}(t)$，其代表由晶片 120 的器件侧 122 的中心区域热 170 发射的热辐射强度。为此，处理器电路 108 从 A/D 转换器 412 接收来自光电二极管 406 的放大信号的 16bit 样品，并如上所述将其储存在器件侧热发射强度储存器中。（如果是可应用的，同时运转动态校准程序 422 可以指示处理器电路 108 根据从内部参比装置 450 接收的信号在储存前调节所接收的样品值）。

[0260] 程序块 930 然后指示处理器电路 108 根据器件侧的先前热属性，确定器件侧 122 的中心区域 170 的当前实时温度。更特别地，程序块 930 指示处理器电路 108 按如下公式计算当前实时器件侧温度：

[0261]

$$T_{器件}(t)=\frac{hc}{\lambda k\left[\frac{I_{器件}(t0)}{I_{器件}(t)}\left(e^{hc/\lambda kT_{器件}(t_0)}-1\right)\right]}$$

[0262] 其中，

[0263] $T_{器件}(t)$ ＝在工件的中心区域 170 处器件侧 122 的实时温度；

[0264] $I_{器件}(t)$ ＝在工件的中心区域 170 处由器件侧 122 的热发射强度的超快速辐射计 400 产生的实时测量值；

[0265] $T_{器件}(t_0)$ ＝刚好在照射系统 180 产生的加热闪光开始之前，在中心区域 170 处器件侧 122 的瞬时温度；

[0266] $I_{器件}(t_0)$ ＝刚好在加热闪光开始之前，中心区域 170 处器件侧 122 热发射的瞬间强度；和

[0267] 剩余变量和常数是如上定义的。

[0268] 在程序块 930 处的前述计算中，假设在闪光循环中器件侧 122 的热辐射系数保持不变。虽然这个假设不十分精确，但是相似的晶片的热辐射系数在经过相似的热循环时将相似地变化。因此，即使恒定的热辐射系数的假设在热处理温度附近的器件侧温度测量中引入微小的测量误差，这样的误差对于在相似的循环中的相似晶片将会一致地重现。因此，任何这样的误差将不影响最终热循环的重复性。

[0269] 在本实施例中，在由照射系统 180 产生的照射闪光过程中重复程序块 920 和 930 的执行。更特别地，在本实施例中，照射闪光具有毫秒数量级的持续时间，并且每毫秒重复一次程序块 920 和 930，由此在 1 毫秒闪光循环过程中产生 1000 个连续的实时器件侧温度值。因此，在本实施例中，当第一表面受到照射，或更特别地，当第一表面暴露于持续时间小于工件热传导时间的照射闪光时，实时器件侧温度程序配置处理器电路 108，以便根据由第一表面发射的热辐射当前强度的连续的各个值来重复确定第一表面 104 的当前温度的连续值。

[0270] 如果希望，实时器件侧温度程序 420 可以包括用于指示超快速辐射计 400 的处理器电路 108 的指令代码，以便根据实时温度值控制照射系统产生的照射闪光的功率。

[0271] 例如，在本实施例中，实时器件侧温度程序 420 包括编码的另一个程序块 940，其指示处理器电路 108 控制供给到照射系统 180 的功率以控制照射闪光的功率。更具体地，在本实施例中，程序块 940 指示处理器电路 108 以测定是否满足了至少一个预定条件。更具体地，程序块 940 指示处理器电路 108 测定闪光过程中最近获得的实时器件侧温度值是否大于或等于器件侧 122 的预定最高希望温度。如果这样的话，程序块 940 指示处理器电路 108 向照射系统 180 的功率控制系统 188 发出信号，以便立即停止从功率控制系统到闪光灯 182 的其余电能脉冲放电。

[0272] 例如，参见图 10，在 960 处一般性表示了根据本发明一个实施例的功率控制系统 188 的功率控制电路。要供给到闪光灯 182 以产生照射闪光的储存电荷被储存在大的电容器组中，为了便于说明，其由图 10 中的单一电容器 962 表示。在闪光灯 182 的一个电极和电容器的一个极板之间串联插入开关 964 和电感器 966，并将闪光灯的另一个电极与电容器的另一个极板连接。在其中不需要闪光的闭环反馈控制的实施例中，开关 964 不必容易地从其导电状态恢复到其开路或非导电状态。因此，在这样的实施例中，在闪光过程中维持电流小于希望放电电流的硅控整流器可以用作开关 964。然而，作为替代方案，如果反馈控制希望具有这样的回路，那末开关 964 优选包括的开关类型是当其从电容器 962 传导大的希望放电电流过程中容易从导电状态恢复到其非导电状态的开关。在这样的实施例中，如

果在程序块 940 处，处理器电路 108 确定器件侧温度 $T_{器件}(t)$ 大于或等于预定最大希望温度，则指示处理器电路 108 打开开关 964 以停止从电容器 962 放电。

[0273] 同样，根据需要，程序块 964 可以指示处理器电路 108 以便对于闪光循环过程中的相同时刻 t，周期性地将实时器件侧温度值与希望的或预定的器件侧温度进行比较，并且可以增大或减少功率控制系统 188 提供给闪光灯 182 的能量，因此减小实际的与希望的器件侧温度之间的差异。

[0274] 例如，参见图 11，在 970 处一般性地表示了根据本发明第二实施例的功率控制系统 188 的功率控制电路。为了便于说明，放电产生照射闪光的电容器组再一次表示为单一电容器 962。沿着连接电容器 962 的一个极板与闪光灯的一个电极的第一电路 972，串联插入开关 974 和电感器 976。第二电路 972 连接电容器的另一极板与闪光灯的另一电极。电阻器 980 和第二开关串联连接在第一电路 972 与第二电路 978 之间，该电阻器与第一电路 972 在第一开关 984 和电感器 976 之间的点 984 处连接，并且第二开关 986 在点 986 处与第二电路 978 连接。第二开关 982 可以包括门控开关，例如硅控整流器。更一般地，任何合适类型的开关均可以用作开关 974 和 982。当 RSC 112 的处理器电路 110 初始关闭第一开关 974 以开始闪光时，第二开关 982 保持打开。如果在程序块 940，超快速辐射计 400 的处理器电路 108 确定器件侧温度 $T_{器件}(t)$ 高于闪光过程中给定时间点处的希望温度，那么程序块 940 指示处理器电路 108 向第二开关 982 施加门信号以关闭第二开关，并且造成电容器 962 放出的一些电流流过电感器 980，从而减少电容器 962 供给闪光灯 182 的电流。

[0275] 类似地，参见图 12，根据本发明的第三实施例的功率控制系统 188 的功率控制电路一般地表示在 990 处。为了容易说明，将要放电以产生照射闪光的电容器组再一次示意性表示为单一电容器 962。沿着连接电容器 962 的第一极板和闪光灯 182 的第一电极的电路 991，串联插入第一开关 992、第一电感器 993、和与第二开关 995 并联的第二电感器 994。在这方面，第二开关 995 沿着第一电路 991 的分电路 996 插入。分电路 996 的一端连接到插入在第一电感器 993 与第二电感器 994 之间的点 997。分电路 996 的另一端连接到插入在第二电感器 994 与闪光灯 182 的第一极板之间的点 998。第二开关 995 可以包括门控制开关，如硅控整流器。更一般地，任何合适的开关类型均可以用作开关 992 和 995。第二电路 999 将电容器 962 的第二极板连接到闪光灯 182 的第二电极上。当 RSC 112 的处理器电路 110 初始关闭第一开关以开始闪光时，第二开关保持打开。如果在程序块 940，超快速辐射计 400 的处理器电路 108 确定器件侧温度 $T_{器件}(t)$ 低于闪光过程中给定时间点的希望温度，则程序块指示处理器电路 108 将门信号施加到第二开关 995 的门上，以关闭第二开关，从而增大电容器 962 供给到闪光灯 182 的电流。

[0276] 在本实施例中，无论是否提供反馈控制程序块 940，程序块 950 都指示处理器电路确定热循环（包括预热循环、闪光循环和随后的冷却阶段）是否已经结束，并且晶片已经冷却到足够冷的温度以使其对于 1450nm 的诊断波长不再是不透明的。如果热循环没有结束，则指示处理器电路返回到程序块 920 和 930，其被处理器电路 108 重复地在此执行，在照射闪光期间以及以后的冷却阶段，以 1μs 间隔继续重复确定实时器件侧温度。

[0277] 其它示例性替代方案

[0278] 参见图 1、4、6、9 和 13，根据本发明的第四实施例的用于温度测量和热处理工件的系统一般性地表示在图 13 中的 1000 处。系统 1000 一般性地类似于图 1 中所示的系统 100，

但是替代的照射系统 1010 已经替代了照射系统 180。

[0279] 在本实施例中，照射系统 1010 包括多个照射源，一般性地表示在 1020 处，或者更具体地是多个与图 1 中所示的弧光灯 182 类似的弧光灯。所述至少一个处理器电路（或更具体地是超快速辐射计 400 的处理器电路 108）配置用于只有当第一表面的当前温度低于预定阈值时启动多个照射光源之一。

[0280] 更具体地，在本实施例中，照射系统 1010 包括至少两个独立的功率控制系统 1030 和 1040，其每一个类似于图 1 中所示的功率控制系统 188 的脉冲放电供电单元。第一功率控制系统向第一、第二和第三弧光灯 1032、1034 和 1036 提供能量，而第二功率控制系统 1040 向第四弧光灯 1042 提供能量。在该实施例中，第一功率控制系统 1030 在 RSC 112 的处理器电路 110 的指示下被激活，如上结合图 6 中所示的温度监测与控制程序 226 的程序块 616 所讨论的。

[0281] 但是，在本实施例中，第二功率控制系统不受 RSC 112 控制。相反，在该实施例中，第二功率控制系统由图 9 中所示的超快速辐射计 400 在实时器件侧温度程序 420 的程序块 940 指示下激活。更具体地，在该实施例中，程序块 940 指示处理器电路 108 只有在闪光循环开始后的预定间隔之后，当前的器件侧温度 $T_{器件}(t)$ 小于预定的希望温度时，激活第二功率控制系统 1040。因此，在该实施例中，放电到第四弧光灯的能量将被调节以使晶片的器件侧 122 达到希望的温度。

[0282] 作为替代方案，如果希望，在处理器电路 108 控制下的闪光灯或其它照射光源的数量可以变化。

[0283] 更一般地，虽然已经描述和说明了本发明的具体实施例，但是这样的实施例应当被认为仅仅是用于说明本发明，而不是限制由实施方案书所限定的本发明。

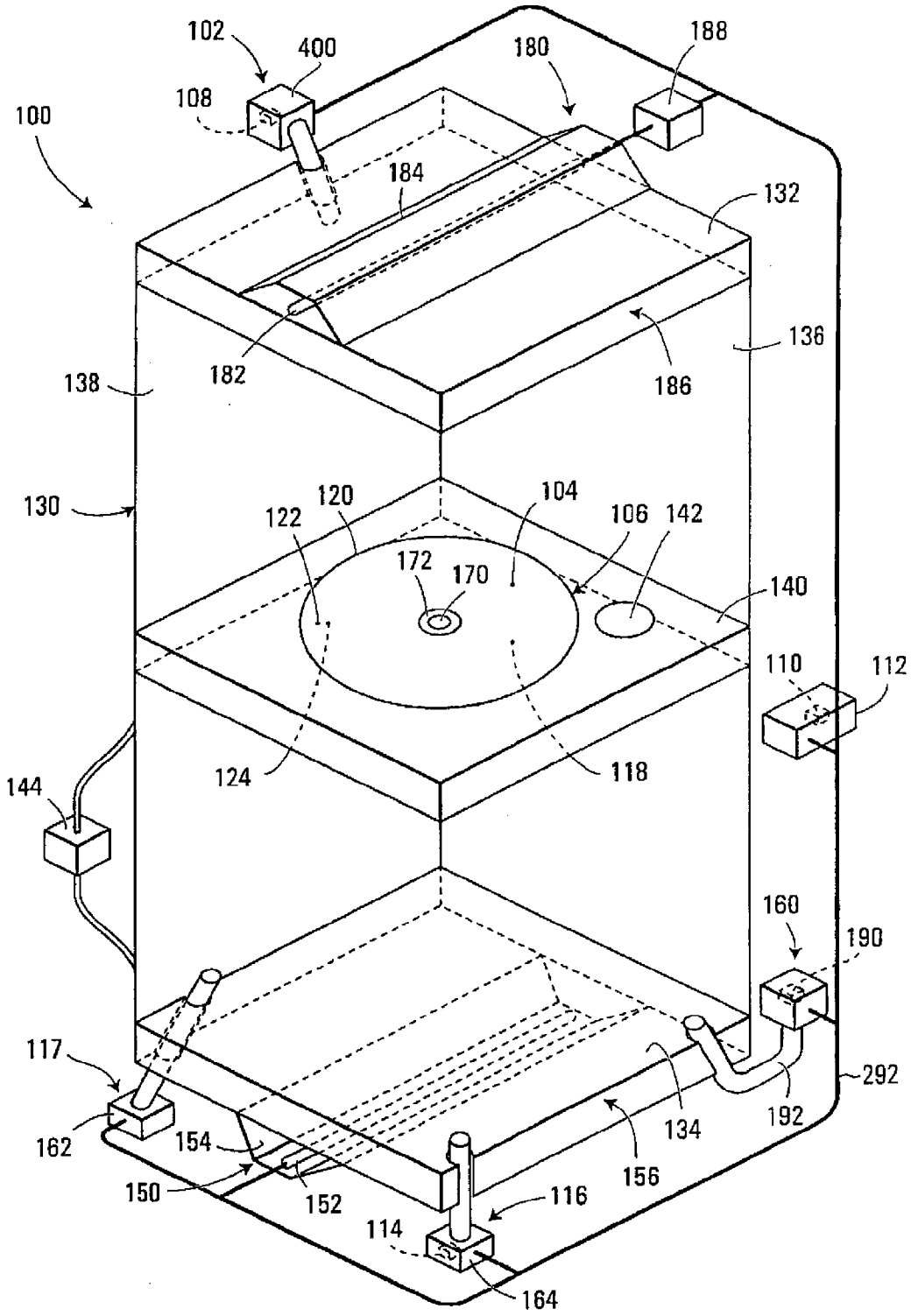

102
400
180
188
108
100
184
132
136
138
182
186
130
120
104
122
106
142
172
170
140
110
112
144
124
118
160
190
117
292
162
154
134
192
156
150
152
116
114
164

图 1

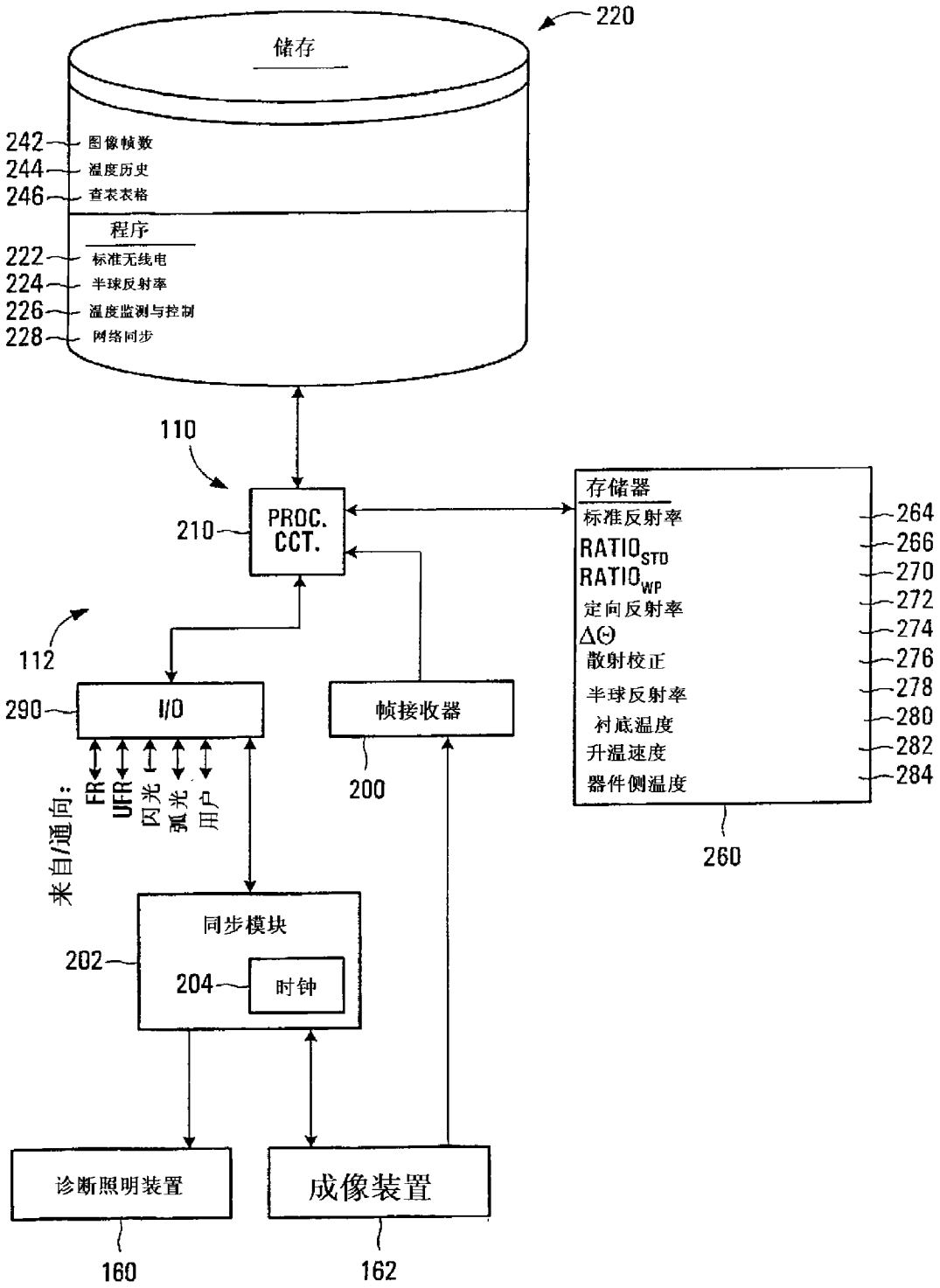

220
储存
242 图像帧数
244 温度历史
246 查表表格
程序
222 标准无线电
224 半球反射率
226 温度监测与控制
228 网络同步
110
210
PROC. CCT.
存储器
标准反射率 264
RATIO$_{STD}$ 266
RATIO$_{WP}$ 270
定向反射率 272
Δ⊖ 274
散射校正 276
半球反射率 278
衬底温度 280
升温速度 282
器件侧温度 284
260
112
290
I/O
帧接收器
200
来自/通向:
FR
UFR
闪光
弧光
用户
同步模块
202
204
时钟
诊断照明装置
160
成像装置
162

图 2

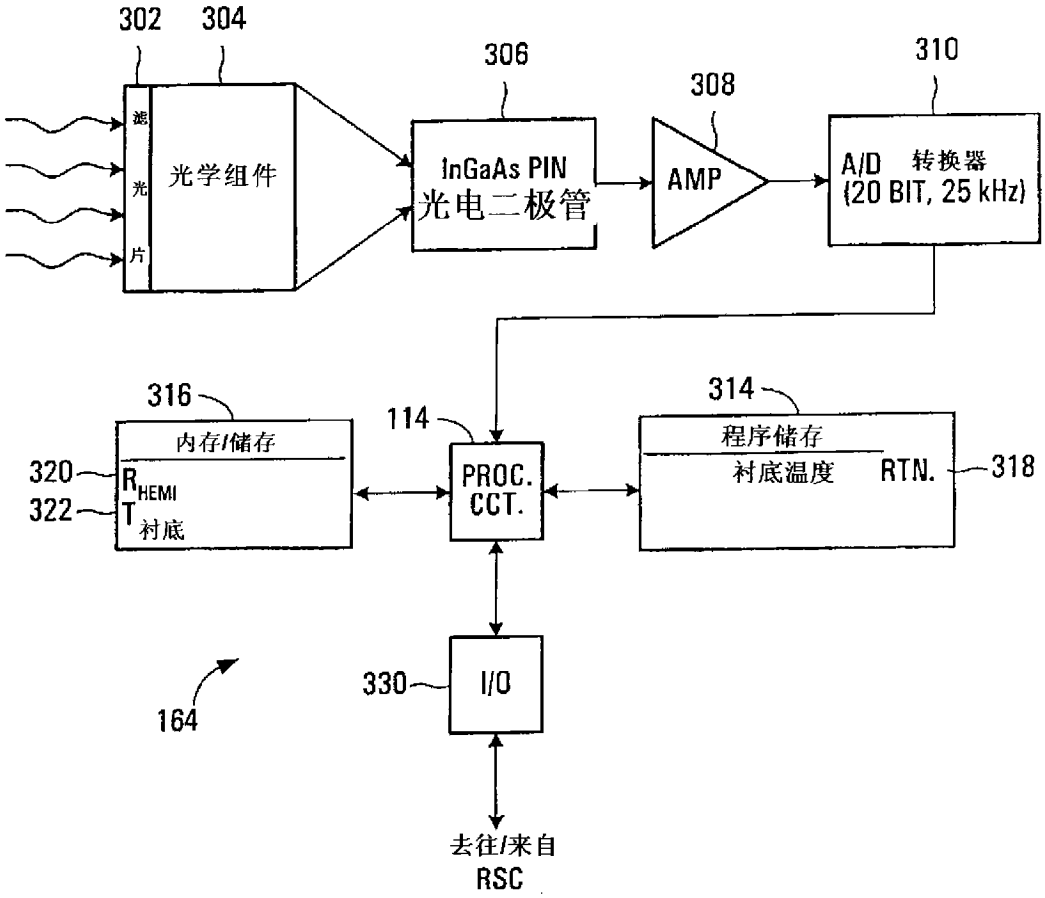

302
304
306
308
310
滤
光
片
光学组件
InGaAs PIN
光电二极管
AMP
A/D 转换器
(20 BIT, 25 kHz)
316
内存/储存
320
R_{HEMI}
322
T
衬底
114
PROC.
CCT.
314
程序储存
衬底温度
RTN.
318
330
I/O
164
去往/来自
RSC

图 3

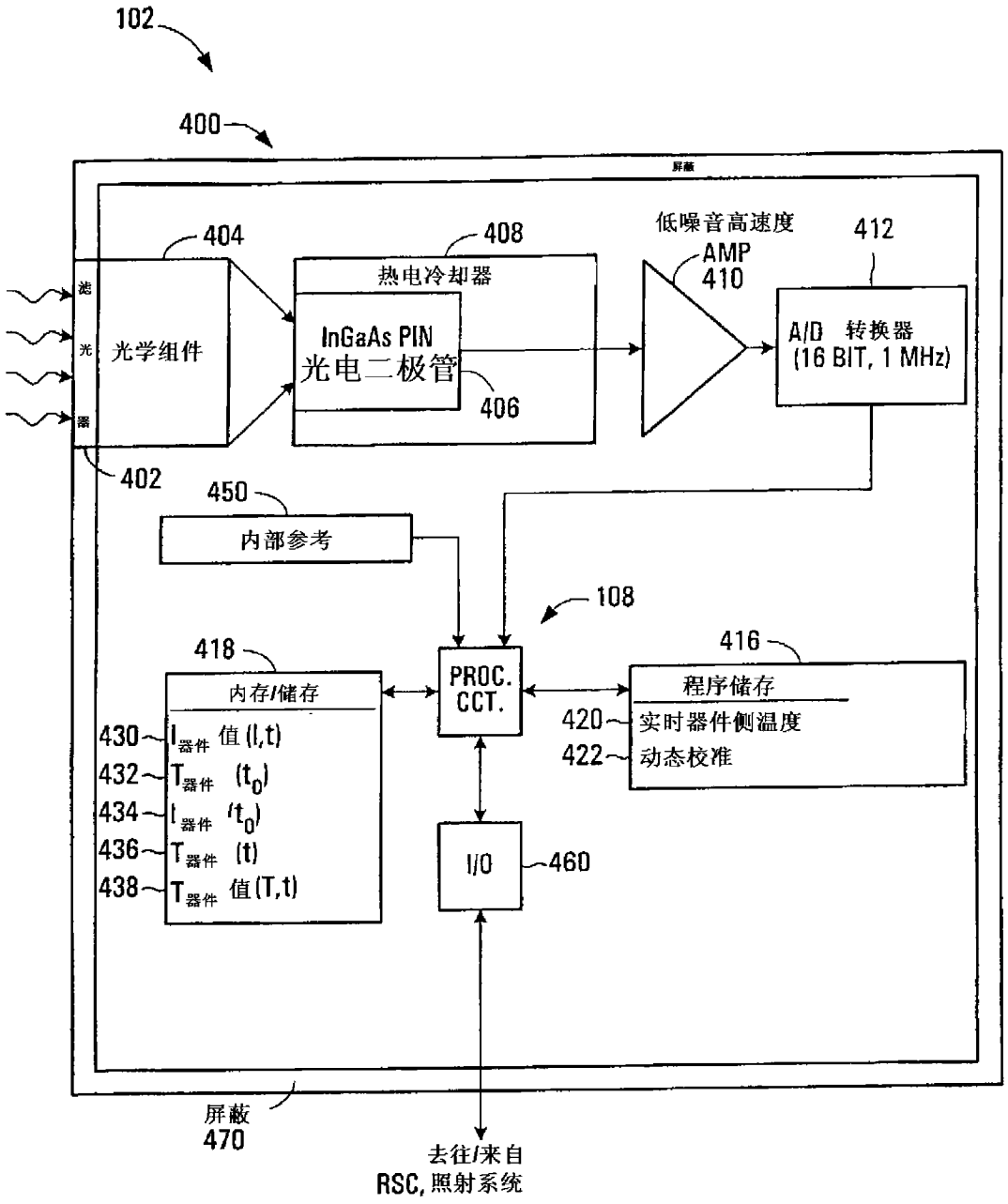

102
400
屏蔽
404
408
低噪音高速度
AMP
410
412
滤光器
光学组件
热电冷却器
InGaAs PIN
光电二极管
406
A/D 转换器
(16 BIT, 1 MHz)
402
450
内部参考
108
418
416
PROC.
CCT.
内存/储存
程序储存
430 I器件 值 (I,t)
432 T器件 (t0)
434 I器件 (t0)
436 T器件 (t)
438 T器件 值 (T,t)
420 实时器件侧温度
422 动态校准
I/O
460
屏蔽
470
去往/来自
RSC, 照射系统

图 4

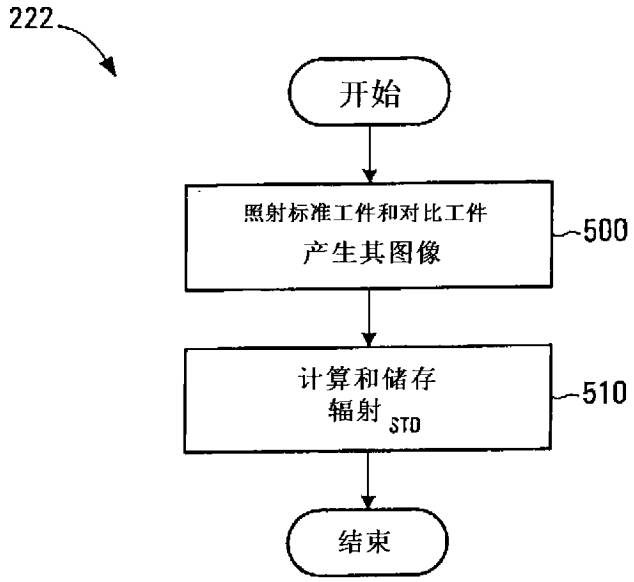


图 5

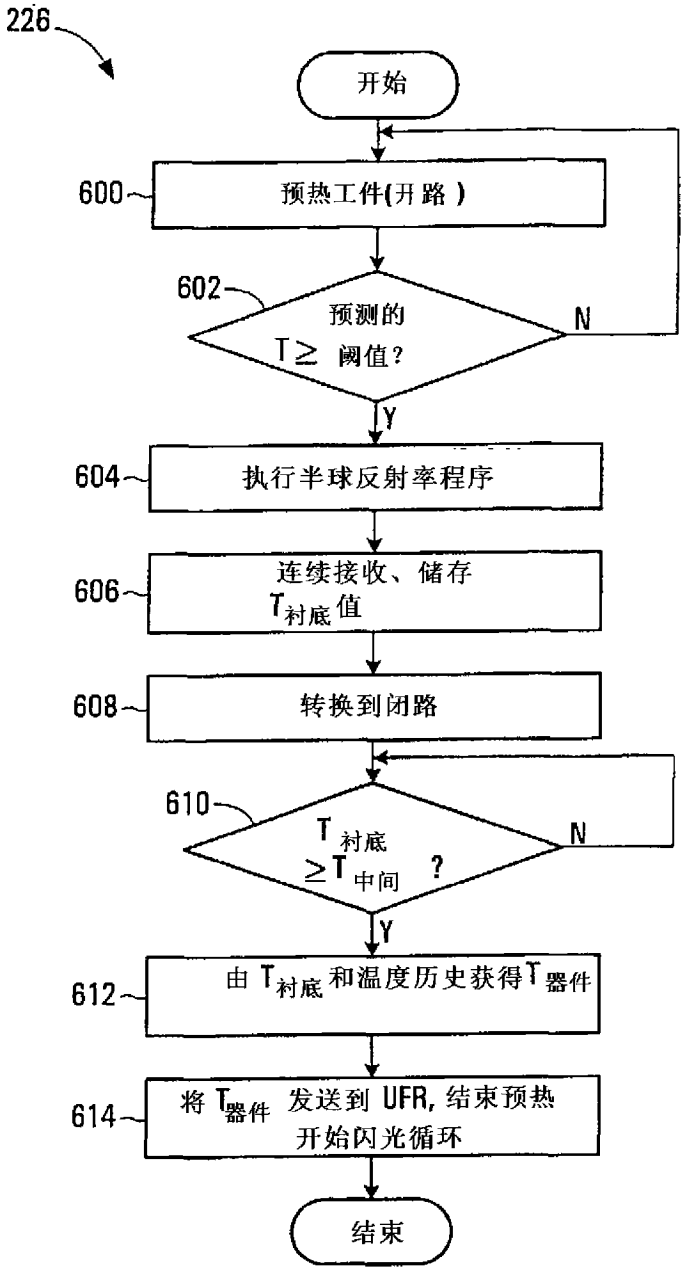

226
开始
600
预热工件(开路)
602
预测的 T≥ 阈值?
N
Y
604
执行半球反射率程序
606
连续接收、储存 T衬底值
608
转换到闭路
610
T衬底 ≥T中间 ?
N
Y
612
由 T衬底 和温度历史获得T器件
614
将 T器件 发送到 UFR, 结束预热 开始闪光循环
结束

图 6

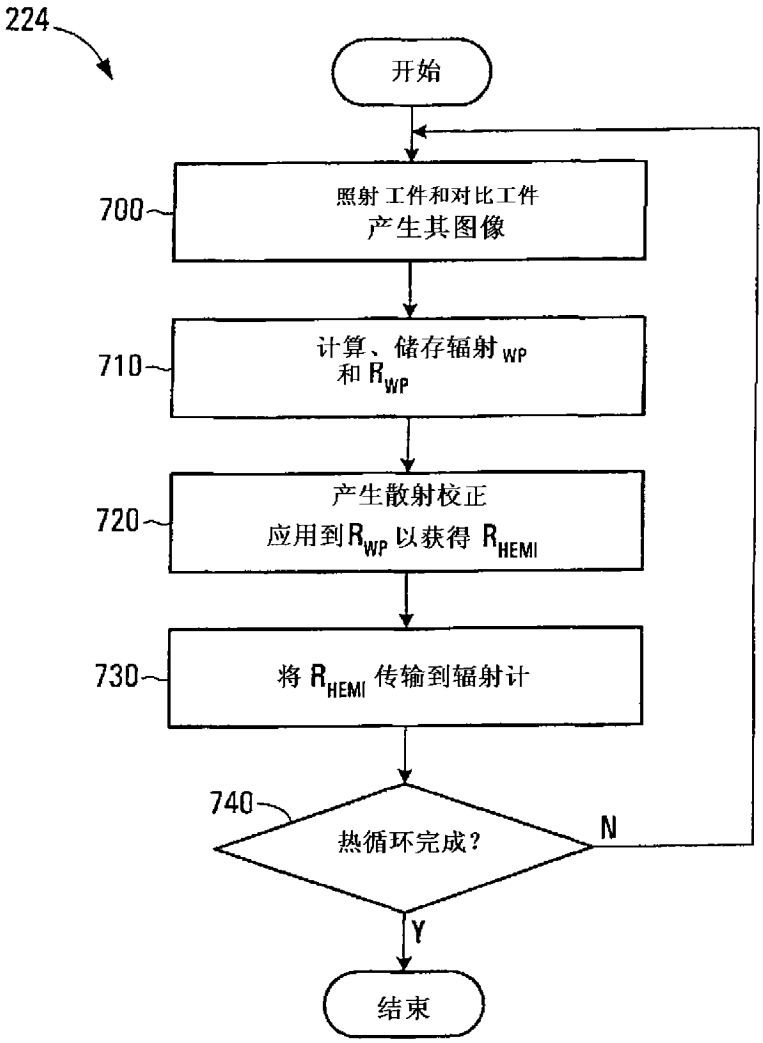

224
开始
700
照射工件和对比工件
产生其图像
710
计算、储存辐射 R_{WP}
和 R_{WP}
720
产生散射校正
应用到 R_{WP} 以获得 R_{HEMI}
730
将 R_{HEMI} 传输到辐射计
740
热循环完成？
N
Y
结束

图 7

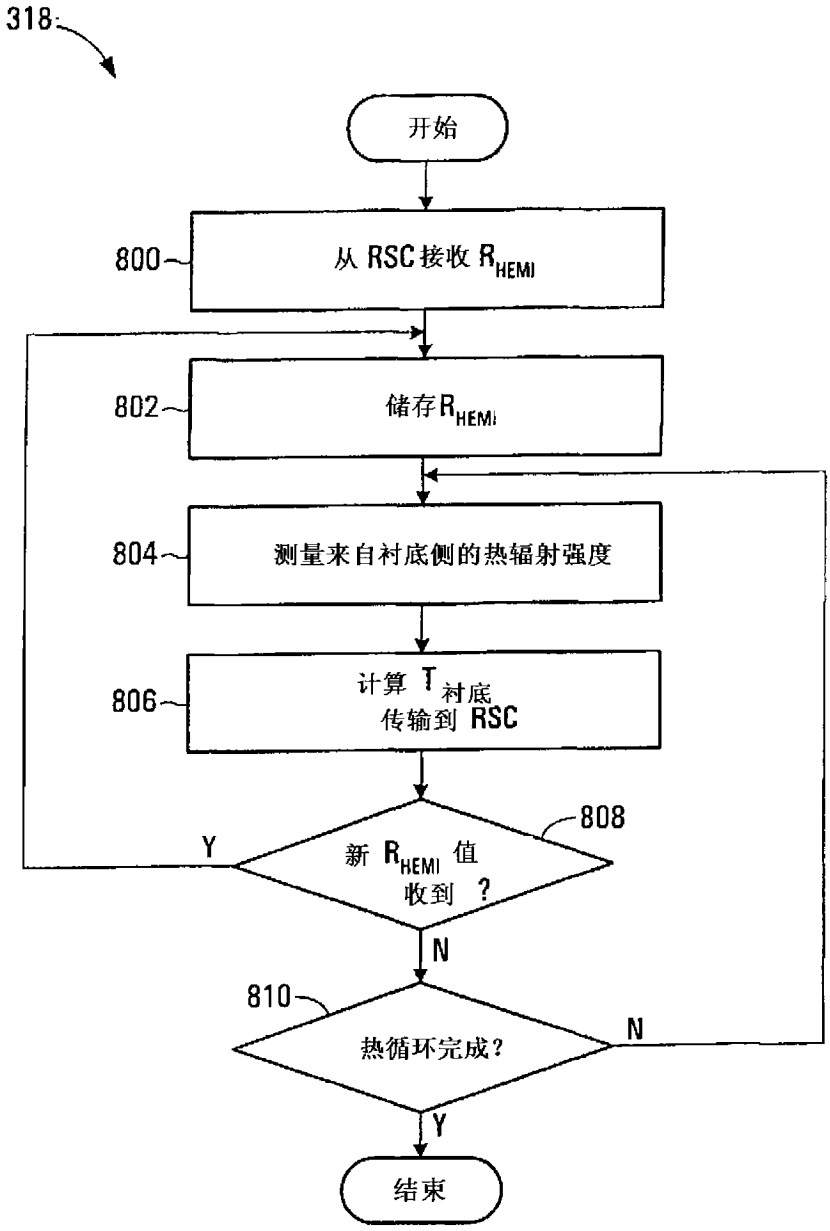

318
开始
800
从 RSC 接收 R_{HEMI}
802
储存 R_{HEMI}
804
测量来自衬底侧的热辐射强度
806
计算 $T_{衬底}$
传输到 RSC
808
新 R_{HEMI} 值
收到 ?
Y
N
810
热循环完成?
N
Y
结束

图 8

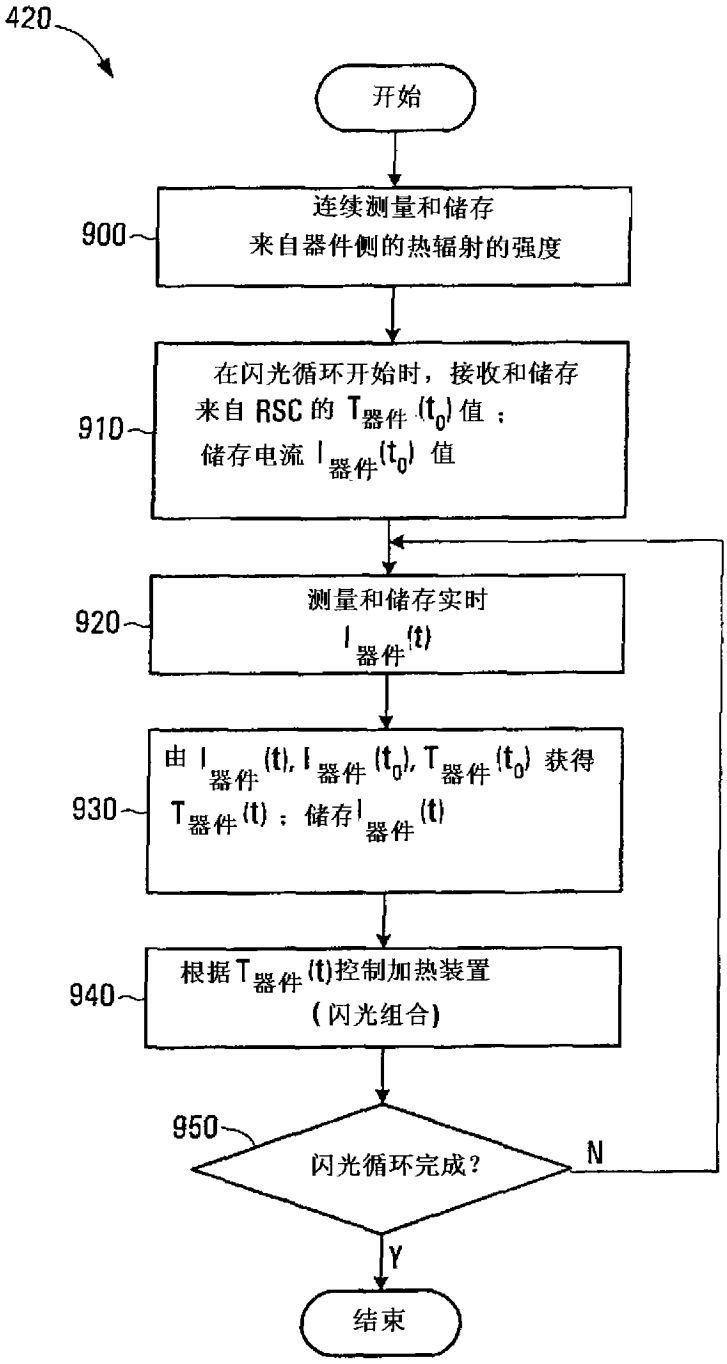

420
开始
900
连续测量和储存
来自器件侧的热辐射的强度
910
在闪光循环开始时，接收和储存
来自 RSC 的 $T_{器件}(t_0)$ 值；
储存电流 $I_{器件}(t_0)$ 值
920
测量和储存实时
$I_{器件}(t)$
930
由 $I_{器件}(t)$, $I_{器件}(t_0)$, $T_{器件}(t_0)$ 获得
$T_{器件}(t)$；储存 $I_{器件}(t)$
940
根据 $T_{器件}(t)$ 控制加热装置
(闪光组合)
950
闪光循环完成？
N
Y
结束

图 9

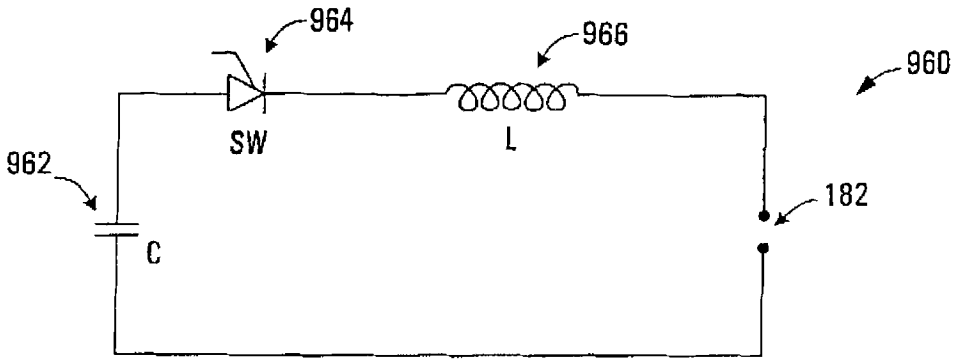

964
966
960
SW
L
962
182
C

图 10

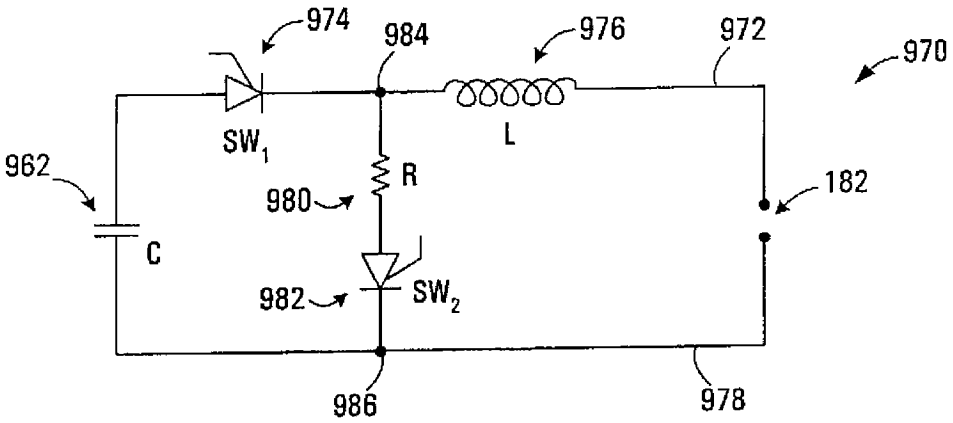

974
984
976
972
970
SW1
L
962
R
980
182
C
982
SW2
986
978

图 11

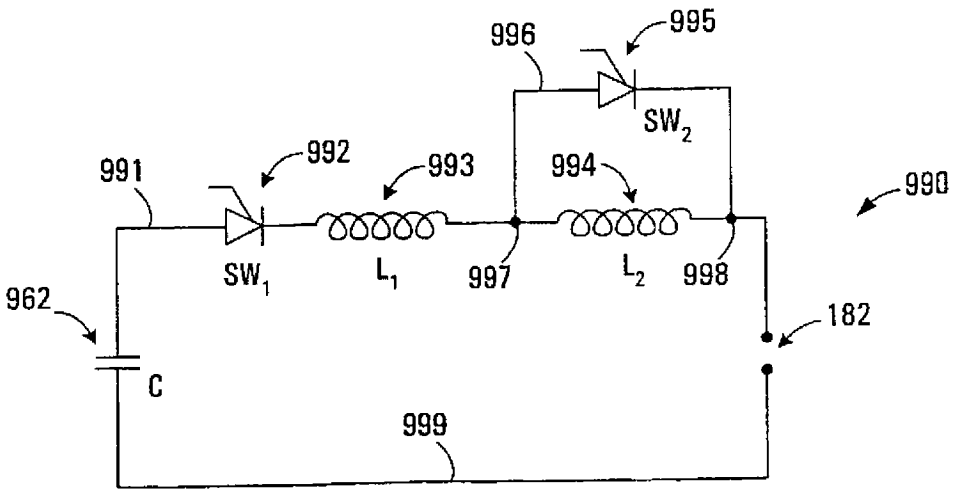

996
995
SW2
991
992
993
994
990
SW1
L1
997
L2
998
962
182
C
999

图 12

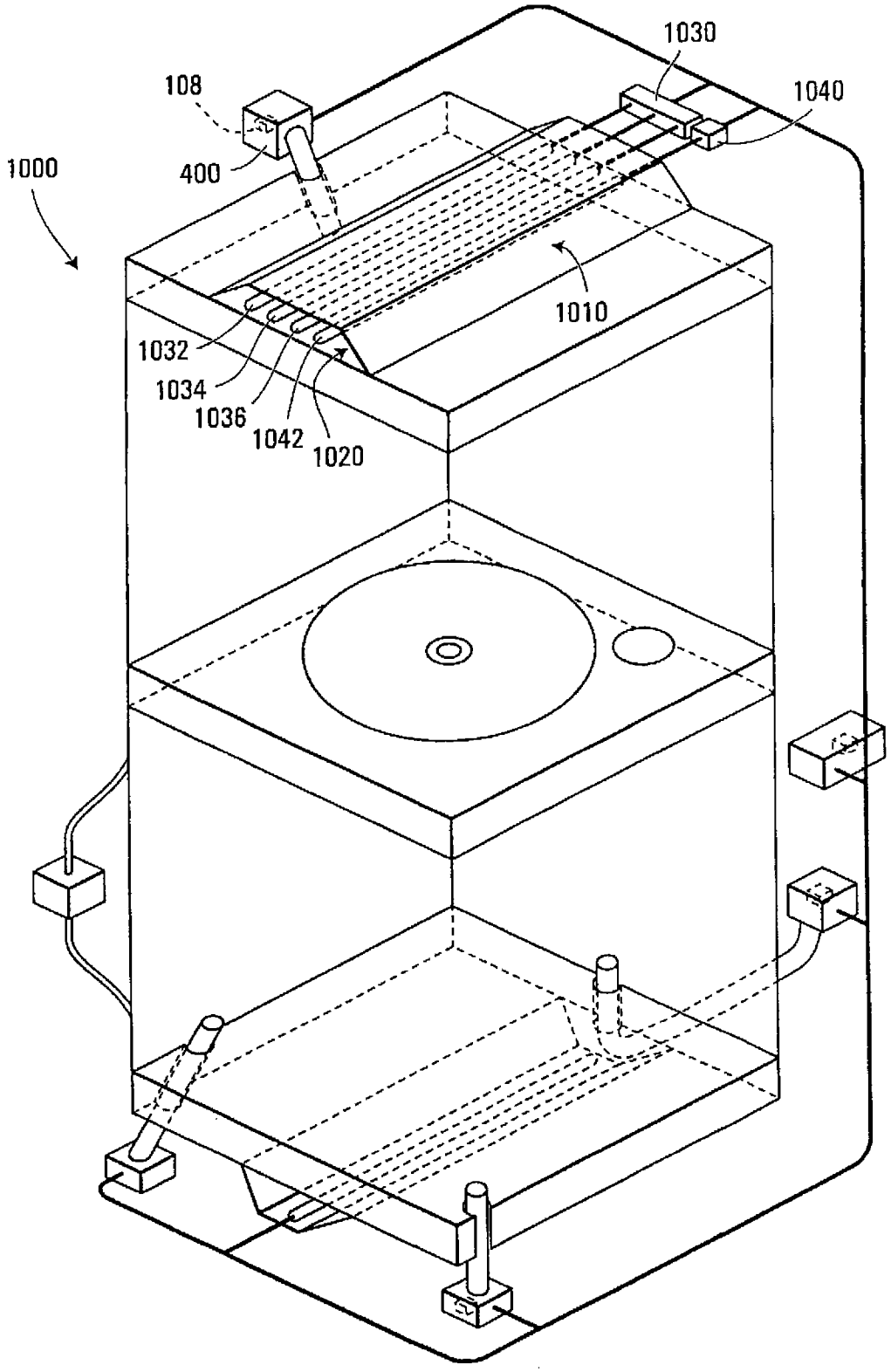


图 13