



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101688916 B

(45) 授权公告日 2013. 05. 01

(21) 申请号 200880023164. 9

代理人 王英 刘炳胜

(22) 申请日 2008. 06. 23

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

G01T 1/16(2006. 01)

60/947, 483 2007. 07. 02 US

G01T 7/00(2006. 01)

61/027, 043 2008. 02. 08 US

(56) 对比文件

(85) PCT申请进入国家阶段日

CN 101163989 A, 2008. 04. 16,

2009. 12. 31

CN 101163989 A, 2008. 04. 16,

(86) PCT申请的申请数据

EP 1219971 A2, 2002. 07. 03,

PCT/IB2008/052477 2008. 06. 23

WO 2006/071922 A2, 2006. 07. 06,

(87) PCT申请的公布数据

JP 特开平 8-45026 A, 1996. 02. 16,

W02009/004521 EN 2009. 01. 08

EP 1642530 A1, 2006. 04. 05,

审查员 黄彬

(73) 专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 M·A·莫里希 G·D·德梅斯泰

J·J·格里斯默 T·J·佐尔夫

V·舒尔茨 B·魏斯勒

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

权利要求书3页 说明书9页 附图8页

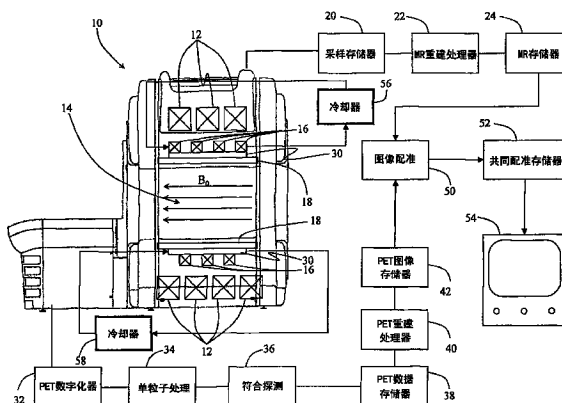
(54) 发明名称

用于混合 PET-MR 系统的热稳定的 PET 探测器

(57) 摘要

在混合 PET-MR 系统中, 在孔径 (14) 中增加 PET 探测器元件 (30) 使其与梯度线圈 (16) 相靠近。供应流体冷却剂以传递来自 PET 探测器元件 (30) 的热量。绝热体 (80) 使流体冷却剂和 PET 探测器元件 (30) 与梯度线圈 (16) 绝热。在一些实施例中, 第一冷却剂路径 (90) 与电子器件热连通, 第二冷却剂路径 (92) 与光探测器热连通, 而热障 (94, 96) 被布置于第一和第二冷却剂路径之间, 使得第一和第二冷却剂路径可以处于不同温度 (T_e, T_d)。在一些实施例中, 密封的热管 (110) 与热沉热连通, 使得热管中的工作流体经历蒸发 / 凝结循环以从探测器元件向热沉传递热量。

CN 101688916 B



1. 一种诊断成像设备,包括:

磁共振部分,其包括:

用于在所述设备的成像区域(14)中生成主磁场的主磁线圈组件(12);

用于在所述主磁场上叠加梯度磁场的梯度线圈组件(16);

用于至少向所述成像区域中发射 RF 信号的 RF 线圈组件(18);

正电子发射断层摄影部分,其包括:

流体冷却的探测器阵列(30),其用于探测指示核衰变事件的辐射,所述探测器具有非所述梯度线圈组件(16)的冷却系统(56)的流体冷却系统(58),所述探测器阵列热接近所述梯度线圈组件,并通过对所述流体冷却的探测器阵列进行流体冷却使所述探测器阵列维持在比所述热接近的梯度线圈组件更低的温度;

至少一个重建处理器(22,40),其用于根据源于所述成像区域的探测信号产生图像表示;以及

显示器(54),其用于显示所重建的图像表示。

2. 根据权利要求1所述的诊断成像设备,还包括:

RF 屏蔽壳(68),其包封所述探测器阵列并使所述阵列对 RF 信号屏蔽。

3. 根据权利要求1所述的诊断成像设备,其中,流体冷却剂包括水和介电油中的一种。

4. 根据权利要求1所述的诊断成像设备,其中,所述探测器冷却系统(58)包括柱形包壳。

5. 根据权利要求1所述的诊断成像设备,其中,所述探测器冷却系统(58)包括多个大致平行于所述主磁场延伸的通道。

6. 根据权利要求4所述的诊断成像设备,还包括:

所述探测器冷却系统中的至少一个电介质断路器(76),所述电介质断路器阻断涡电流路径。

7. 根据权利要求1所述的诊断成像设备,其中,所述探测器冷却系统(58)包封所述探测器阵列,所述探测器阵列浸没在导热介电油中。

8. 根据权利要求1所述的诊断成像设备,其中,所述探测器阵列(30)包括:

围绕所述成像区域延伸的大致环状的辐射探测器阵列(64);

设置于所述大致环状阵列(64)和所述梯度线圈组件(16)之间的探测器电子器件(66);

至少在所述探测器电子器件(66)和所述梯度线圈组件(16)之间界定的冷却流体路径。

9. 根据权利要求8所述的诊断成像设备,还包括:

设置于所述冷却流体路径和所述梯度线圈阵列(16)之间的绝热体(80)。

10. 根据权利要求9所述的诊断成像设备,其中,所述冷却流体路径(70)和所述绝热体(80)设置于围绕所述探测器电子器件(66)的大致环状区域中。

11. 根据权利要求10所述的诊断成像设备,其中,所述绝热体(80)沿着所述探测器电子器件(66)和所述辐射探测器阵列(64)的侧面呈放射状延伸。

12. 根据权利要求10所述的诊断成像设备,其中,所述探测器阵列位于所述梯度线圈组件(16)和所述 RF 线圈组件(18)之间,RF 屏(60)在所述辐射探测器阵列(64)和所述

RF 线圈 (18) 之间延伸。

13. 根据权利要求 12 所述的诊断成像设备,其中,所述探测器阵列 (30) 位于分离式梯度线圈系统中的梯度线圈 (16) 之间。

14. 根据权利要求 10 所述的诊断成像设备,其中,所述冷却流体路径 (70) 还沿着所述探测器电子器件 (66) 和探测器元件阵列 (64) 的侧面呈放射状延伸。

15. 根据权利要求 8 所述的诊断成像设备,其中,所述冷却流体路径 (70) 包括被布置成冷却所述探测器电子器件 (66) 的第一冷却路径 (90) 和被布置成冷却所述探测器元件 (64) 的第二冷却路径 (92)。

16. 根据权利要求 15 所述的诊断成像设备,其中,第一冷却剂路径 (90) 和第二冷却剂路径 (92) 由如下布置方式之一中的公共入口 (102) 和公共出口 (104) 驱动:(i) 并联布置、(ii) 逆流布置或 (iii) 级联布置,其中,冷却剂流体经过所述第二冷却路径 (92) 然后进入所述第一冷却路径 (90)。

17. 根据权利要求 15 所述的诊断成像设备,还包括:

与所述第二冷却剂路径 (92) 和所述探测器元件 (64) 中的至少一个可操作地耦合的温度传感器 (106),控制流经所述第二冷却剂路径的流体流 (Fd) 以维持由所述温度传感器指示的稳定温度。

18. 根据权利要求 15 所述的诊断成像设备,还包括:

设置于所述第二冷却路径 (92) 和所述探测器元件 (64) 之间的热道中的珀耳帖元件 (108)。

19. 根据权利要求 8 所述的诊断成像设备,其中,所述探测器冷却系统 (58) 包括:

与所述辐射探测器 (64) 热连通、以为所述辐射探测器 (64) 提供稳定温度的一个或多个热管 (110)。

20. 根据权利要求 8 所述的诊断成像设备,其中,所述辐射探测器阵列 (30) 包括如下之一:

固态探测器元件阵列 (64);或

与光探测器阵列 (64) 光耦合的闪烁体阵列 (62)。

21. 一种诊断成像方法,包括:

利用磁共振扫描器探测磁共振;

利用与所述磁共振扫描器的梯度线圈组件 (16) 热接近的探测器阵列 (30) 探测指示放射性衰变事件的辐射;

利用非所述梯度线圈组件 (16) 的冷却系统 (56) 的流体冷却系统 (58) 冷却所述探测器阵列 (30),从而使所述探测器阵列 (30) 维持在比所述热接近的梯度线圈组件更低的温度;

将探测到的磁共振和辐射中的至少一个重建成所述受检者的图像表示;以及
显示所述图像表示。

22. 根据权利要求 21 所述的方法,还包括:

利用使所述探测器阵列 (30) 对 RF 信号屏蔽的 RF 屏蔽 (68) 来对所述阵列 (30) 进行屏蔽。

23. 根据权利要求 21 所述的方法,其中,冷却所述探测器阵列 (30) 的步骤包括:

将流体冷却剂泵送通过与所述探测器阵列 (30) 相邻的多个通道 (70)。

24. 根据权利要求 21 所述的方法,还包括:

使所述流体冷却系统 (58) 的冷却剂环路的至少一个部分与叠加梯度场的所述梯度线圈组件 (16) 进行隔热。

25. 根据权利要求 21 所述的方法,还包括:

利用流体冷却剂冷却所述探测器阵列 (30) 的探测器电子器件 (66);

使所述探测器阵列 (30) 与在主磁场上叠加梯度场的梯度线圈组件 (16) 进行隔热。

26. 根据权利要求 21 所述的方法,还包括:

利用流体冷却剂冷却所述梯度线圈组件 (16)。

27. 根据权利要求 21 所述的方法,其中,所述冷却包括:

利用流体冷却剂流经的第一冷却路径 (90) 冷却所述探测器阵列的电子器件 (66); 以及

利用流体冷却剂流经的与所述第一冷却路径不同的第二冷却路径 (92) 冷却所述探测器阵列的辐射探测器 (64);

其中,所述第一冷却路径 (90) 和所述第二冷却路径 (92) 都直接或间接地从公共流体冷却剂入口 (104) 接收流体冷却剂。

28. 根据权利要求 27 所述的方法,其中,级联所述第一冷却路径 (90) 和所述第二冷却路径 (92),使得流体冷却剂流经所述第二冷却剂路径 (92) 以冷却所述辐射探测器 (64),然后流经所述第一冷却剂路径 (90) 以冷却所述电子器件 (66)。

29. 根据权利要求 21 所述的方法,其中,所述冷却包括:

在还包含芯吸材料或结构 (122) 的密封的热管 (110) 中设置流体冷却剂的至少一部分,所述密封的热管 (110) 可操作地与所述探测器阵列 (30) 和至少一个热沉 (112) 耦合,使得所述密封的热管中的所述流体冷却剂的蒸发 / 凝结循环从所述探测器阵列向所述热沉传递热量。

30. 根据权利要求 21 所述的方法,还包括:

利用微型珀耳帖元件 (108) 控制所述探测器阵列 (30) 和流体冷却剂之间的热阻。

31. 一种成像系统,包括:

磁共振部分;

位于所述磁共振部分的孔径内的正电子发射断层摄影部分;

包封所述正电子发射断层摄影部分的磁共振屏蔽 (68);

被引入所述磁共振屏蔽 (68) 中以至少冷却所述正电子发射断层摄影部分的探测器阵列 (30) 的流体冷却系统。

32. 根据权利要求 31 所述的成像系统,其中,所述流体冷却系统冷却所述磁共振部分的所述探测器阵列 (30) 和梯度线圈组件 (16)。

用于混合 PET-MR 系统的热稳定的 PET 探测器

[0001] 本申请涉及诊断成像技术领域。本发明尤其适用于混合正电子发射断层摄影-磁共振 (PET-MR) 系统,其中 PET 探测器元件与 MR 系统的发热元件靠得很近,并且将要具体参考这样的混合 PET-MR 系统来对本发明进行描述。由于 PET 探测器元件自身也产生热量,因此本申请不限于混合系统,而是可以用于独立的 PET 系统、PET/CT(计算断层摄影)系统或者除了 PET 之外的核医学系统,例如单光子发射计算断层摄影 (SPECT) 系统。

[0002] 在孔径型 MRI 系统中,大螺线管主磁体沿着孔径的轴产生磁场。通常,主磁体越靠近成像区域,设计的成本效率越高。从主磁体向里通常是梯度线圈、匀场线圈(有时内置入梯度线圈组件中)、射频 (RF) 屏蔽和 RF 线圈。这些线圈,或 MR 孔径部件占据更多空间。因此,即使在将 PET 探测器系统引入 MR 系统的孔径中之前,空间也非常珍贵。PET 探测器必须要靠近 MR 孔径部件。也可以利用垂直场开放式 MR 系统构建 PET-MR 系统。同样的空间限制也适用于这种系统。

[0003] 梯度线圈尤其会产生大量的热。在 MR 扫描期间,梯度线圈平均消耗大约 15kW,峰值水平更高。这可能会导致梯度线圈温度升高,可以使用水冷却来将梯度线圈的温度限制到大约 70°C。RF 线圈也会发热。在受脉冲作用时,RF 线圈和梯度线圈还会产生杂散场,这种时变的杂散场可能与 PET 探测器的诸如为特定目的建造的 RF 屏蔽的金属部件交互作用,并且产生额外的热量。

[0004] 自己发热的 PET 探测器元件通常用空气冷却。由于光探测器对热敏感(温度每升高 10°C,暗噪声就加倍),将光探测器冷却到与之如此靠近的梯度线圈的工作温度以下的温度限制了暗噪声。不过,由于空间非常宝贵,因此 PET-MR 混合系统中冷却成为一个问题。主磁体内部发热元件的密度非常高,而可用于冷却系统的空间则极小。

[0005] 本申请提供了一种克服上述问题和其他问题的用于 MR 设备孔径内的 PET 元件的新型改进冷却系统。

[0006] 根据一个方面,提供了一种诊断成像设备,其包括:

[0007] 磁共振部分,其包括:

[0008] 用于在所述设备的成像区域中生成主磁场的主磁线圈组件;

[0009] 用于在所述主磁场上叠加梯度磁场的梯度线圈组件;

[0010] 用于至少向所述成像区域中发射 RF 信号的 RF 线圈组件;正电子发射断层摄影部分,其包括:

[0011] 流体冷却的探测器阵列,其用于探测指示核衰变事件的辐射,所述探测器具有非所述梯度线圈组件的冷却系统的流体冷却系统,所述探测器阵列热接近所述梯度线圈组件,并通过对所述流体冷却的探测器阵列进行流体冷却使所述探测器阵列维持在比所述热接近的梯度线圈组件更低的温度;

[0012] 至少一个重建处理器,其用于根据源于所述成像区域的探测信号产生图像表示;以及

[0013] 显示器,其用于显示所重建的图像表示。

[0014] 根据另一方面,提供了一种诊断成像方法,其包括:

- [0015] 利用磁共振扫描器探测磁共振；
- [0016] 利用与所述磁共振扫描器的梯度线圈组件热接近的探测器阵列探测指示放射性衰变事件的辐射；
- [0017] 利用非所述梯度线圈组件的冷却系统的流体冷却系统冷却所述探测器阵列，从而使所述探测器阵列维持在比所述热接近的梯度线圈组件更低的温度；
- [0018] 将探测到的磁共振和辐射中的至少一个重建成所述受检者的图像表示；以及
- [0019] 显示所述图像表示。
- [0020] 应当领会到的是，这些步骤的其他顺序同样可行并且已经预见到有这些步骤的其他顺序。
- [0021] 根据另一方面，提供了一种成像系统，其包括：
- [0022] 磁共振部分；
- [0023] 位于所述磁共振部分的孔径内的正电子发射断层摄影部分；
- [0024] 包封所述正电子发射断层摄影部分的磁共振屏蔽；
- [0025] 被引入所述磁共振屏蔽中以至少冷却所述正电子发射断层摄影部分的探测器阵列的流体冷却系统。
- [0026] 根据另一方面，公开了一种辐射探测器，其包括：闪烁体；被布置成通过与感兴趣辐射交互作用来探测闪烁体中产生的闪烁的光探测器；被配置成接收并处理指示从光探测器接收的感兴趣辐射的电信号的电子器件；与电子器件热连通并被配置成传输流动的冷却剂流体的第一冷却剂路径；与光探测器热连通并被配置成传输流动的冷却剂流体的第二冷却剂路径；以及布置于第一和第二冷却剂路径之间使得第一和第二冷却剂路径可以处于不同温度的热障。
- [0027] 根据另一方面，公开了一种成像系统，其包括：第一模态成像系统，其界定孔径并被配置成从孔径内部采集第一模态成像数据；以及正电子发射断层摄影（PET）成像系统，其包括与第一模态成像系统的孔径共轴布置的根据紧前方段落所述的大致环状的辐射探测器阵列。
- [0028] 根据另一方面，公开了一种辐射探测器，其包括：闪烁体；被布置成通过与感兴趣辐射交互作用来探测闪烁体中产生的闪烁的光探测器；被配置成接收并处理指示从光探测器接收的感兴趣辐射的电信号的电子器件；热沉；以及与热沉和光探测器热连通的密封的热管。密封的热管包含工作流体和芯吸材料或结构，配置该热管使得工作流体在密封热管内经历蒸发/凝结循环以从光探测器向热沉传递热量。
- [0029] 根据另一方面，公开了一种成像系统，其包括：磁共振扫描器，其界定孔径并被配置成从孔径内部采集磁共振数据；以及正电子发射断层摄影（PET）成像系统，其包括与所述孔径共轴布置的根据紧前方段落所述的大致环状的辐射探测器阵列，以从孔径内部采集 PET 数据。
- [0030] 一个优点在于 PET 探测器元件的冷却机制得到改善。
- [0031] 另一个优点在于探测器元件的冷却机制紧凑。
- [0032] 另一个优点在于梯度线圈和 PET 探测器元件有独立的冷却系统。
- [0033] 在阅读并理解说明书的基础上，本领域的普通技术人员将会理解本发明的其他优点。

[0034] 本发明可以具体化成各种的部件和部件的布置,并且可以具体化成各种的步骤和步骤的安排。附图仅用于举例说明优选实施例,不应视为限制本发明。

[0035] 图 1 是根据本申请的组合 PET/MR 扫描器的示意图;

[0036] 图 2 是图 1 的扫描器孔径的截面图,其具体示出了梯度元件和 RF 元件之间的探测器阵列;

[0037] 图 3 是图 1 的扫描器孔径的截面图,其具体示出了分离式梯度元件的各部分之间的探测器阵列;

[0038] 图 4 是示出了通过平行流道的冷却液流动方向的示意图;

[0039] 图 5 是示出了为电子器件和光探测器提供差异冷却的探测器冷却配置的示意图;

[0040] 图 6 是示出了采用热管的探测器冷却配置的示意图;

[0041] 图 7 是示出了图 6 的探测器冷却配置的热管阵列以及与流体冷却的热沉的连接平面图示意图;

[0042] 图 8 是示出了类似于图 6 但在热管两端包括通往热沉的热耦合的探测器冷却配置的示意图。

[0043] 参照图 1,描绘出组合或混合的磁共振 (MR) 和 PET 数据采集系统 10 的实施例。该组合或混合系统 10 能够例如从至少部分交迭 (如图所示) 或空间上相邻的 MR 和 PET 空间区域采集 MR 数据和 PET 数据这两者。应当理解的是,多模态系统对于图像在时间和空间上进行对齐或配准是理想的;还可预见的是由相距很远或置于空间上很远的不同扫描器来拍摄图像,采用类似的方式拍摄图像也是可行的。图示的扫描器 10 为集成系统,但是其他扫描器倾向同样是看似可行的,例如并排式系统、插入式系统等。所示的磁共振扫描器包括环状磁体 12,所述环状磁体包括多个导体线圈绕组 (图 1 中用带有交叉线的方框示意性地描绘出),所述线圈绕组在成像区域 14 之内产生静磁场 B_0 。磁体 12 可以是超导性质的或电阻性质的;在前一种情况下,磁体 12 通常置于低温杜瓦或其他冷却系统 (未示出) 中。图示的磁体 12 为螺线管磁体,其具有通过成像区域 14 的相对水平的 B_0 场。尽管将 B_0 场的极性示为从右到左,但是相反极性也是适当的。在其他实施例中,磁体 12 可以具有 C 形形态或者其取向用以产生垂直或其他取向的静磁场的其他形态。

[0044] 磁共振扫描器还包括磁场梯度组件,在图 1 的例示性实施例中,磁场梯度组件包括梯度线圈绕组 16,梯度线圈绕组 16 响应于对选定梯度线圈绕组 16 的选择性励磁,协同在静磁场 B_0 上叠加磁场梯度。任选地,磁场梯度线圈、磁体或两者可以包括未示出的用于形成、稳定和动态调节磁场的其他特征,例如被动铁磁匀场、主动匀场线圈等。磁共振扫描器还包括射频激励和接收系统 18。该射频系统包括至少一个可以以适当的射频进行励磁从而在置于成像区域 14 中的受检者体内激励磁共振的部件,例如图示的全身射频线圈 18。线圈 18 还可以充当用以接收或探测 RF 激励之后从成像区域 14 发出的磁共振的射频接收机。在一些实施例中,可以将不同线圈用于激励和接收操作。例如,可以使用内置线圈 18 激励磁共振,可以在成像区域 14 中的受检者上方、身上或附近定位不同的局部线圈或专用接收线圈 (未示出) 以探测磁共振。可以预见利用内置线圈、局部线圈或两者的不同组合以不同方式配置同一磁共振扫描器。

[0045] 在磁共振采样存储器 20 中存储接收到的磁共振样本。磁共振重建处理器 22 应用适当的重建算法以重建磁共振样本,进而形成重建图像,并将重建图像存储于磁共振图像

存储器 24 中。重建处理器 22 应用与产生磁共振数据时采用的选定空间编码相称的重建算法。例如,傅里叶变换重建算法可能适于重建笛卡儿编码的磁共振数据。任选地,在数据存储和完成重建之前,可以在线 (in-line) 进行 MR 重建的一部分。

[0046] 继续参照图 1,图示的组合或混合 MR 和 PET 数据采集系统 10 还包括用于进行 PET 数据采集的辐射探测器。在图 1 的例示性范例中,环状阵列的辐射探测器 30 包围着混合系统的孔径。如下文所述,图示的阵列 30 包括闪烁体层和一层基于电子倍增管的光子探测器,不过,可以预见到其他探测器配置,例如设置于成像区域 14 附近的平面探测器阵列。还预见到固态辐射探测器和固态光学探测器。辐射探测器阵列 30 被配置为探测由正电子-电子湮灭事件发射的 511keV 的伽马射线。在 PET 数据采集,假设有两个基本同时的 511keV 伽马射线探测事件源于同一正电子-电子湮灭事件,该正电子-电子湮灭事件位于沿着连接两个基本同时的 511keV 伽马射线探测事件的“响应线”(LOR) 的某处。有时也将这条响应线称为投影或射线,将搜集的 PET 数据称为投影数据。

[0047] 在常规 PET 中,将基本同时的 511keV 伽马射线探测事件定义为彼此发生在选定短时间窗口之内,例如四纳秒之内的两个 511keV 伽马射线探测事件。未发生在视场 (FOV) 中心的任何正电子湮灭都将具有到达相对探测器元件的小时差,该时差正比于伽马射线的行进时间差,在 FOV 的边缘处大约为四纳秒。相关技术,即所谓的飞行时间 PET 或 TOF-PET,利用这种小时差,以亚纳秒精度进一步沿着 LOR 定位正电子-电子湮灭事件。

[0048] 混合系统 10 的辐射探测器阵列 30 用于采集 PET 或 TOF-PET 数据。由 PET 数字化单元 32 和单粒子 (singles) 处理单元 34 处理伽马射线探测事件,其中,PET 数字化单元 32 对探测事件进行时间到数字转换 (TDC) 和模数转换 (ADC),单粒子处理单元 34 进行聚合、能量估计、时间标记和定位。单粒子处理单元 34 任选地滤除掉针对预期的 511keV 伽马射线能量的选择能量窗口之外的探测。在一些实施例中,辐射探测器是像素化的。在其他实施例中,由诸如 Anger 逻辑等的块读出算法应用聚合以提供定义投影的伽马射线探测事件的进一步空间局限化约束。符合探测处理器 36 采用时间加窗来识别基本同时发生并因此可能对应于共同的正电子电子湮灭事件 (并因此定义投影或响应线) 的伽马射线探测事件。

[0049] 对于 TOF 处理而言,使用识别出的基本同时或符合的探测事件之间的时间差沿着响应线在空间上估计正电子电子湮灭事件。

[0050] 在 PET 数据存储 38 中存储所得的 PET 或 TOF PET 数据。应当理解的是,可以在符合确定之前或之后存储 PET 数据。PET 重建处理器 40 利用适当的重建算法处理投影或局限化投影数据以产生重建图像,并将重建图像存储于 PET 图像存储器 42 中。例如,可以采用最大似然期望最大化 (ML-EM)、除 ML-EM 之外的滤波反投影算法或迭代重建算法。图 1 的系统包括用于 PET 的连续辐射探测器阵列 30,其完全包围了受检者。环绕不完全可能导致由于“缺失”投影或响应线造成的成像伪影。例如,可能会丢失某些投影,从而无法得到正常由这种投影提供的关于相关位置的信息。有利地,如果采集并重建飞行时间 PET 数据,那么即使在环绕不完全的情况下,飞行时间局限化也提供了补偿所损失信息的附加信息。然而,还有其他补偿不完全环绕的方式,本申请中当然也预见到其他探测器配置。

[0051] 任选地,同时进行 MR 和 PET 采集。替换地或附加地,可以顺序地 (例如先是 MR 随后是 PET,或反之) 或可以交织地进行 MR 和 PET 采集。图像配准处理器 50 在空间上配准重建的 MR 和 PET 图像,并且任选地在时间上配准重建的 MR 和 PET 图像。如果创建出共同配

准的图像,就把这些图像存储在共同配准图像存储器 52 中。在显示装置 54 上适当显示这样配准的图像,利用适当的二维或三维绘制软件进行绘制,或以其他方式处理。

[0052] 提供第一冷却系统 56 以在梯度线圈 16 工作在最大平均功率水平时将该梯度线圈冷却到大约 70°C 或更低。探测器阵列 30 热接近梯度线圈 16,这是因为梯度线圈与探测器阵列 30 充分靠近,足以使热量从梯度线圈传导到探测器阵列 30。提供第二冷却系统 58 以将探测器阵列 30 冷却到大约 30°C 或更低,更希望冷却到大约 20°C,尽管其与梯度线圈 16 热接近。

[0053] 现在参照图 2,提供了成像孔径的放大图。如前所述,在一个实施例中,探测器阵列 30 绕着成像孔径的纵轴延伸 360°。可以说对于 RF 线圈 18、梯度线圈 16 和主磁体 12 是同样情况。在图 2 的实施例中,探测器阵列 30 位于梯度线圈 16 和用于 RF 线圈 18 的 RF 屏蔽 60 之间。在分离式梯度线圈实施例中,如图 3 所示,探测器阵列 30 可以位于梯度线圈 16 的各部分之间。还预见到有探测器阵列 30 的其他位置,例如根据需要插入孔径并从中移除的可移除系统。

[0054] 在图 2 和 3 的实施例中的任一个中,探测器阵列 30 与梯度线圈 16 靠得很近。主动冷却使得探测器阵列 30 保持不与梯度线圈 16 达到热平衡。为了使探测器阵列 30 保持在可接受的工作温度,如图 4 所示,为探测器阵列 30 提供闭路流体冷却系统 58。图 4 是探测器阵列 30 的截面特写图。探测器阵列 30 主要包括闪烁层 62、光探测器元件 64 和相关联的电子器件 66。探测器阵列 30 全部封装在 RF 屏蔽壳 68 之内。屏蔽壳 68 防止来自 RF 线圈 18 的激励脉冲和来自成像区域 14 的磁共振信号在探测器阵列 30 中产生假信号。而且,RF 屏蔽防止由 PET 探测器产生的无关信号被 MR RF 线圈感测到。如前所述,所有孔径部件,包括探测器阵列 30,都绕着孔径延伸 360°。

[0055] 梯度线圈的温度范围从不运行时的室温或稍冷直到运行期间的 70°C。周围的孔径空间同样地升高温度。此外,PET 探测器的电子器件 66 会产生热量。沉积在周围的 RF 屏蔽材料中的来自脉冲 MR 场的杂散场能量还产生额外的热量。于是,为了防止所有这些热源对探测器阵列的运行产生不利影响,向 PET 探测器阵列 30 应用流体冷却系统 58。让探测器的至少一个表面进行冷却。在一个实施例中,对最靠近电子器件和梯度线圈的表面进行流体冷却,并使探测器的端部绝热。在另一个实施例中,对周向表面和端面都进行流体冷却。在又一个实施例中,如图 4 所示,对探测器所有可触及的侧面进行流体冷却。通过传导通道 70 引导冷却流体。通道 70 由高导热非铁材料,例如铜、铝或不锈钢制造。由于探测器阵列 30 本身是被封住的,因此从探测器向外传导热量的通道 70 也被 RF 屏蔽材料 68 封住。可以在 RF 屏蔽 68 之外使用不同的磁性惰性材料。具体而言,输送通道 72 可以由绝热材料制造或包封,使得冷却流体不会从探测器阵列 30 上游的部件带走热量,那样会在从探测器阵列 30 本身去除热量方面变得效率不高。在一个实施例中,输送通道在 RF 屏 60 和梯度线圈 16 之间延伸。

[0056] 冷却系统被配置成为 PET 探测器 30 提供高效冷却,同时节省空间。为此目的,冷却通道 70 优选是焊接或以其他方式直接热连接到电路系统 66 的细扁通道。还优选增加通道 70 而不会增加全体组件的体积,例如以互补方式布置通道 70,使得面对的电路板可以配合在一起,同时几乎不浪费它们之间的空间。

[0057] 以避免产生会耦合到梯度场的闭合传导路径这样的方式配置探测器阵列 30 周围

的冷却通道 70。在一个实施例中,这是通过主要沿着跨越电子器件承载电路系统 66 的轴向方向以曲折的方式延伸通道来实现的。在冷却侧面时,冷却通道可以放射状地延伸。避免环状通道减少了涡电流的产生。为入口路径 72 和出口路径 74 在 RF 壳 68 中制造孔。可以利用波导实现这些孔。可以提供冷却线路中的电介质断路器 76 以阻断通道传导路径。换热器单元 78 向冷却流体提供流动和温度控制。换热器 78 还能够使冷却流体降温到低于室温,以更有效地从探测器阵列 30 去除热量。可以在成像室或相邻房间之内对换热器 78 自身进行空气冷却。另一个选择是使换热器 78 与更大的冷却系统(例如楼宇的总冷却系统)接口连接。可以将来自冷却剂的热量转移到另一流体道并排到屋顶空调压缩机外等。

[0058] 在一个实施例中,冷却流体是具有期望的热运移特性且导电性最小的纯水或去离子水。冷却剂的流速正比于电子器件总功耗,反比于出口-入口温度差。流动路径可以包括并联路径,以使每次循环累积的温升最小并实现总体的压降。单个路径可能容纳较低体积和流动能力,而压降增大,但探测器阵列 30 在流动路径末端处的部分以及在流动路径开始处的部分可能得不到冷却,这意味着更下游的探测器部件可能无法被冷却到与上游部件相同的温度。这可能会主要导致不均匀的图像伪影。局部措施,例如热沉,能够提供从电子器件 66 离开到达流体通道 70 的导热路径。或者,可以将其他冷却剂流体,例如致冷剂、液态氮、强制通风等用作通道 70 中的流体冷却剂,应当理解的是,本申请中使用的“流体”包括所有这些。在使用比室温更冷的冷却剂时,可以通过孔径提供空气流以辅助防止凝结。

[0059] 在另一实施例中,可以将导热介电油用作冷却剂。在该实施例中,介电冷却剂可以与电子器件 66 和探测器元件直接接触,而不是通过通道壁间接接触。在这种浸没冷却实施例中,整个探测器阵列 30 都包封在流体密封的封闭室中,例如柱形或椭圆形轮廓的包壳中。这种方法会省掉很多流体通道和热沉。封闭室中可以包括挡板以降低不均匀流速和热点的可能。

[0060] 在又一实施例中,使用珀耳帖冷却来冷却探测器阵列 30。可以将此用作独立方法,或可以使用选择性珀耳帖冷却,作为上述一种或多种其他方法的补充来冷却故障点。在图 3 的分离式梯度线圈配置中,有利的是,布置冷却器 56 和相关联的梯度冷却线路以从内到外,即从临近分离式梯度线圈的间隙的区域到分离式梯度线圈的外部末段来冷却分离式梯度线圈。这是有利的,因为梯度线圈将是最冷的,在临近探测器阵列 30 的间隙附近具有最稳定的温度。任选地,冷却线路还在间隙附近集中,以进一步提高最靠近探测器阵列 30 的梯度线圈冷却效率。

[0061] 在又一实施例中,使用公共流体冷却系统来冷却梯度线圈 16 和探测器阵列 30 这两者。该实施例的一个优点是既节约成本又节省空间。然而,缺点在于探测器阵列 30 的温度会受到梯度线圈 16 温度的影响。冷却流体可以将探测器阵列冷却到更低温度,冷却流体离开探测器阵列去冷却或帮助冷却梯度线圈 16。也可以利用分立的电路,使得仅有换热器 78 的一部分被共享。在双冷却系统环境中,可以使用绝热体 80 至少部分地将梯度线圈 16 与探测器阵列 30 隔热开。通过这种方式,可以为每个冷却系统设置单独的基准。利用组合冷却系统,可以将梯度线圈 16 冷却到探测器阵列 30 的期望工作温度,由于梯度线圈 16 的热质量更大,这将要耗费大得多的精确冷却。另一选项是让组合冷却系统针对 PET 探测器阵列和其他需要冷却的元件具有独立的换热器。

[0062] 参照图 5,示出了为电子器件 66 和光探测器 64 提供差异冷却的探测器冷却配置。

电子器件例如可以包括时间到数字转换器 (TDC) 元件、模数转换器 (ADC) 元件、现场可编程门阵列 (FPGA) 或其他逻辑元件、低漏失 (LDO) 稳压器等。这些部件产生大量要被去除的热量,但只要电子器件 66 维持在图 5 中示为 T_e 的适当低工作温度,电子器件 66 的性能一般与温度没有强烈相关性。于是,靠近并冷却电子器件 66 的第一冷却路径 90 用于提供图 5 中示为 F_e 的较高冷却剂流体流速,以实现高的热传递。

[0063] 诸如硅光电倍增器 (SiPM) 元件或光电倍增管的光探测器 64 具有强烈依赖于温度的工作特性。例如,对于一些 SiPM 探测器而言,温度每升高 1°C ,增益增大大约 5-10%。然而,光探测器 64 一般输出比电子器件 66 少很多的热量。于是,靠近并冷却光探测器 64 的第二冷却路径 92 用于提供图 5 中示为 F_d 的较低流量,所述第二冷却路径将光探测器 66 维持在基本不随时间变化的精确温度 T_d 。

[0064] 一方面布置电子器件 66 和关联的冷却路径 90,另一方面布置光探测器 64 和关联的冷却路径 92,使得其彼此基本隔热。这可以通过一方面设置于电子器件 66 和关联的冷却路径 90 之间,另一方面设置于光探测器 64 和关联的冷却路径 92 之间的被动绝热材料 94,例如绝热介电材料或空气间隙实现。附加地或替代地,这可以通过由隔离冷却路径 96 提供的主动隔热来实现,隔离冷却路径 96 中有以流量 F_i 流动的冷却剂流体。

[0065] 闪烁体 62 一般不需要冷却。然而,闪烁体 62 被布置得非常靠近光探测器 64,而光探测器必需要保持在稳定温度。因此,在图 5 的实施例中,在闪烁体 62 周围设置附加的被动绝热材料 98,使得被动绝热体 94、98 大致包含包括光探测器 64 的稳定温度区域。探测器温度管理系统作为整体被适当地包含在围绕探测器模块的外部容器 100 中,其一侧具有将冷却剂流体流 F_e 、 F_d 、 F_i 分配到冷却路径 90、92、96 中的冷却剂流体入口 102,而在相对的一侧具有从探测器模块排出冷却剂流体流 F_e 、 F_d 、 F_i 的冷却剂流体出口 104。用冷却路径 90、92、96 的流体流阻 (或等价地,流体流导) 适当地定义相应的冷却剂流体流 F_e 、 F_d 、 F_i 的不同相对流速。任选地,设置一个或多个温度传感器 106 以测量光探测器 64 的温度,控制流入入口 102 (或者,流出出口 104),以将温度传感器 106 维持在期望的温度读数。或者,可以将温度传感器布置成测量冷却光探测器 64 的冷却剂流体路径 92 的温度 T_d ,因为该温度 T_d 应当接近光探测器 64 的温度。基于探测器温度 (或大致地基于温度 T_d) 控制冷却剂流体流是有利的,因为这是应当维持稳定的关键温度。

[0066] 尽管未图示出,但还可以预见到提供主动阀门控制,例如可以从外部控制的或温度反馈控制的阀门控制,来调节进入冷却路径 90、92、96 的相对流速 F_e 、 F_d 、 F_i 。此外,尽管未图示出,但可以预见到提供围绕电子器件 66 和关联的流动路径 90 的被动绝热材料。

[0067] 在可预见到的另一变型中,针对每个单个平面利用逆流设置以降低模块之内的温度梯度,从而修改图 5 中所示的模块的冷却。这可以通过将入口 102 和出口 104 放置在探测器模块的同一侧来实现。预计使用逆流设置将把热梯度降低 1-2 个数量级,可以预计这会改善温度稳定性。或者,可以将冷却级联起来,因为估计由光探测器 64 实际产生的热量比电子器件 66 产生的热量低 100 倍。在逆流或级联设计的任一种中,有利的是首先冷却光探测器 64 然后冷却电子器件 66,例如,首先使冷却剂流经靠近光探测器 64 的冷却路径 92,然后流经靠近电子器件 66 的冷却路径 90。冷却剂流体流的这种布置促进靠近光探测器 64 的温度 T_d 与靠近电子器件 66 的温度 T_e 相比更精确且更低。电子器件 66 的温度 T_e 是由于大部分热量的耗散,但电子器件的温度不必一定是精确的,其可以由流经光探测器 64 附近

之后的冷却剂流体冷却。

[0068] 作为图 5 设计的另一变型,参考图 5 所示的插图 II,微型珀耳帖元件 108 能够在冷却路径 92 和光探测器 64 之间提供主动可控热阻。例如,标准的珀耳帖元件适当地基于碲化铋 (Bi_2Te_3) 和硒化铋 (Bi_2Se_3)。可以使用类似于用于利用基于硅的珀耳帖元件冷却半导体的布置(例如在 Mathews 等人的美国专利 No. 6800933 中所述,该专利文献以引用方式并入本文中),其中微型珀耳帖装置设置于光探测器 64 中使用的绝缘体上半导体(SOI)衬底顶部的不敏感区中。也可以在光探测器 64 背上安装的独立装置中实现这些结构。在这种方式中,可以调谐局部温度梯度并将其控制在大约 0.1°C 或更小之内,以便确保每个光探测器元件有精确恒定的温度。在这些实施例中,冷却介质的温度不必一定与光探测器的温度一样低,从而消除了凝结且无需成本高昂地将介质冷却到室温以下。

[0069] 图 5 的辐射探测器系统采用了冷却剂流体。冷却剂流体例如可以是去离子水、强制通风、致冷剂等。在这种实施例中,例如,利用诸如焊接连接的永久连接或诸如螺纹耦合或快速断开连接的可拆除连接器将入口 102 和出口 104 适当地与外部供应和返回线路(例如如图 4 的线路 72、74) 连接。

[0070] 参照图 6 和 7,在另一个实施例中,使用一个或多个热管,例如图示的平行线性阵列的热管 110,来提供从辐射探测器模块的各部件到一个或多个由诸如导热陶瓷、氧化铝、氮化铝等导热材料制成的热沉 112 的热传递。还可以为热沉 112 使用诸如铜的导热金属,但应当将其层压或以其他方式配置,以抑制涡电流的形成。任选地,冷却流体道 114 通过热沉 112,以去除热管 110 传输到热沉 112 中的热量。

[0071] 每个热管 110 包括密封的内部体积 120,该内部体积包含至少一种工作流体,例如水、像酒精的溶剂等,或者包含工作流体的混合物。在内部体积 120 的内表面上设置芯吸材料或结构 122 或另一种支持毛细现象或毛细作用的材料或结构,芯吸材料或结构由表面上形成有槽的多孔性材料构成。

[0072] 在工作中,工作流体在靠近热管 110 远离热沉 112 的末端 124 处或在沿着热管 110 的其他“热点”处蒸发。从热点向蒸发的工作流体传递汽化热,以箭头 126 示意性示出了这一点。由于蒸汽浓度梯度的原因,蒸发的工作流体 126 向热沉 112 移动。蒸发的工作流体 126 在靠近热管 110 临近热沉 112 的末端 128 处凝结。工作流体在近端 128 凝结从凝结工作流体向热沉 112 转移了凝结热。通过与芯吸材料或结构 122 相关联的毛细现象或毛细作用向热管 110 的远端向回抽吸凝结的工作流体。当工作流体再次在热点蒸发时,完成传热循环。有利地,芯吸材料或结构 122 中的毛细力导致的凝结液体回流与热管 110 的空间位置无关。

[0073] 为了用在包括 MR 部件的混合系统中,热管 110 优选由非磁性且不导电材料制成,例如高热导率陶瓷,例如氮化铝或氧化铝。如果使用金属或其他导电材料,则应当将它们进行层压,从而在不导电基质材料中布置成复合材料,或者以其他方式配置成抑制涡电流的形成。如图 6 和 7 所示,该阵列的热管 110 大致是平坦的,并设置于光探测器 64 和相关联的电子器件 66 之间,以冷却这两者。由于蒸发的工作流体 126 被迅速转移,因此在较热的电子器件 66 和较冷的光探测器 64 之间存在固有的温度隔离。

[0074] 有利地,热管 110 和热沉 112 之间的连接可以通过导热表面接触 130 实现,任选地由压力配合、螺纹连接等加以增强,不必在热沉 112 和热管 110 之间有冷却流体流动,因此

其间不包括流体连接。有利地,热管 110 是永久密封单元,在安装或拆卸辐射探测器模块时不打开热管 110。

[0075] 另一个优点在于,热管 110 外部的温度基本受到工作流体蒸发温度的控制且沿着热管 110 基本恒定。蒸发温度是一种或多种冷却介质的函数。

[0076] 参照图 8,为了进一步降低热梯度,应当预见到使每个热管 110 都与一个以上的热沉 112 进行热连通,例如如图 8 所示在热管 110 的两端都具有热沉 112。还应当预见到布置交叉线性阵列的热管,或使用大致平坦的热管,或采用其他热管几何形状以增强热量去除和温度稳定性。

[0077] 图 8 的实施例还包括集成为单层的光探测器 64 和电子器件 66,例如单片集成在硅衬底材料的单个公共层上或中。例如参见 W02006/111883A2(2006 年 10 月 26 日公开,该专利文献以引用方式并入本文),其涉及一种用于飞行时间 PET 的数字硅光电倍增管(SiPM),其中数字 SiPM 包括单片方式形成于公共硅衬底中或上的探测器阵列层和浸没式(buried) CMOS 数字处理电路层。在图 8 的实施例中,热管 110 在内部体积 120 远离和靠近被冷却元件 64、66 处的内表面上都设置有芯吸材料或结构 122。然而,由于在图 8 的实施例中,被冷却元件 64、66 一起设置于热管 110 一侧,因此可以预见到仅在靠近被冷却元件 64、66 的内表面上设置该芯吸材料或结构。

[0078] 作为另一种变型,尽管在图 6-8 所示的实施例中,热管 110 与被冷却元件 64、66 直接接触或靠得很近,在其他实施例中,热管可以设置于一块导热陶瓷材料或不导电合成材料中,该材料又与被冷却元件 64、66 密切热接触。

[0079] 尽管在合并有磁共振成像的混合成像系统的举例说明性上下文中进行了描述,但是应当领会到,还可以预见到将参考图 4-8 公开的辐射探测器模块冷却配置用在采用辐射探测器的其他成像系统中,例如用在独立的 PET 成像系统、PET/CT(计算断层摄影)成像系统、伽马相机等中。

[0080] 已经参考优选实施例描述了本发明。在阅读并理解说明书的基础上,他人可以想到各种修改和变更。只要所有这些修改和变更属于权利要求书或其等价情形的范围内,那么本发明意在被理解为包括所有这种修改和变更。

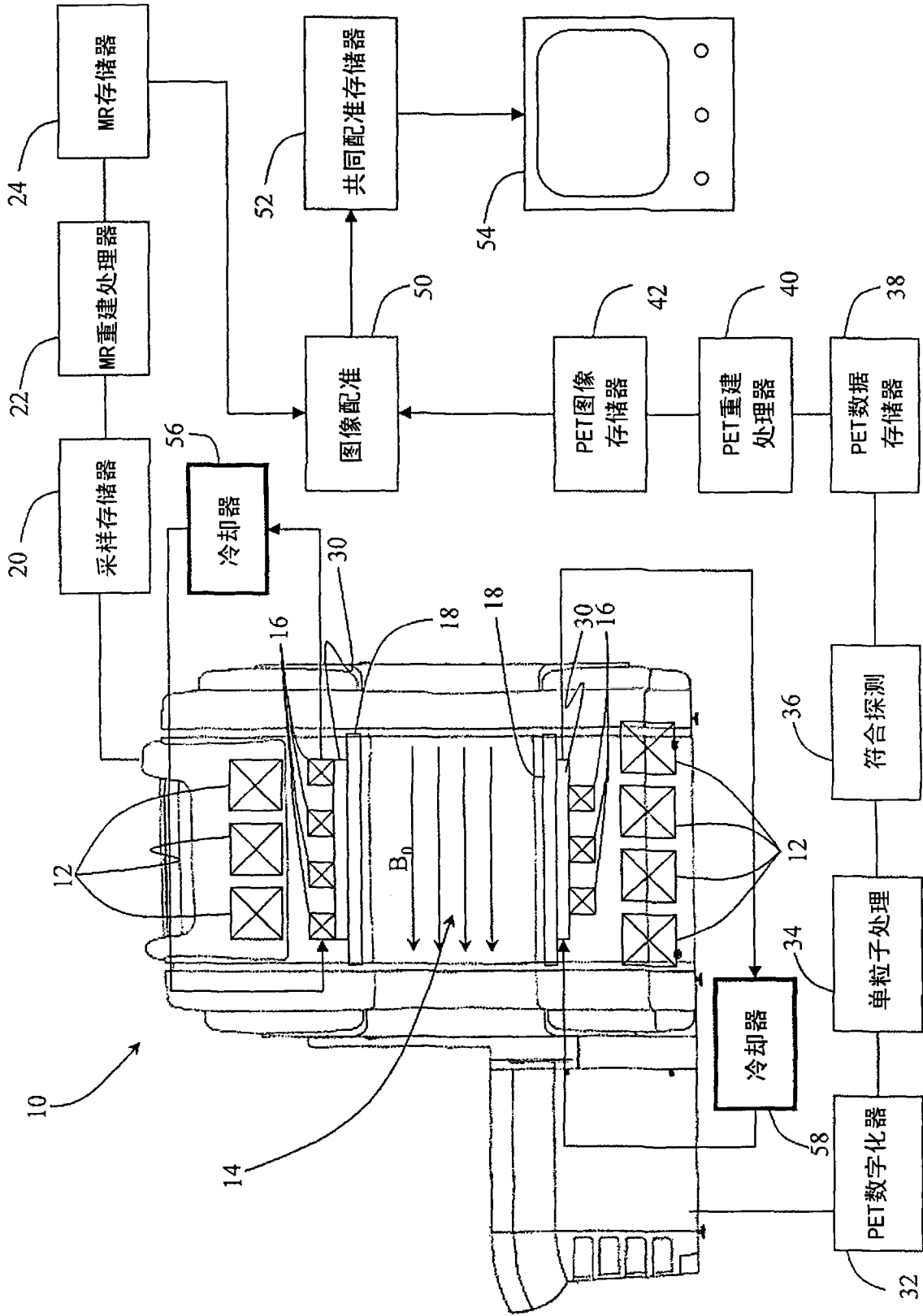


图 1

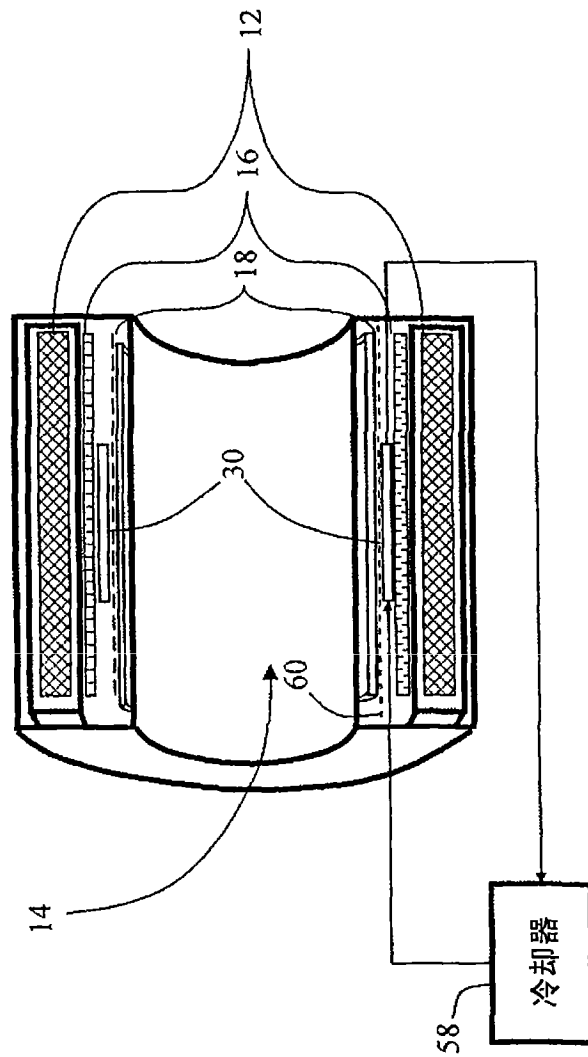


图 2

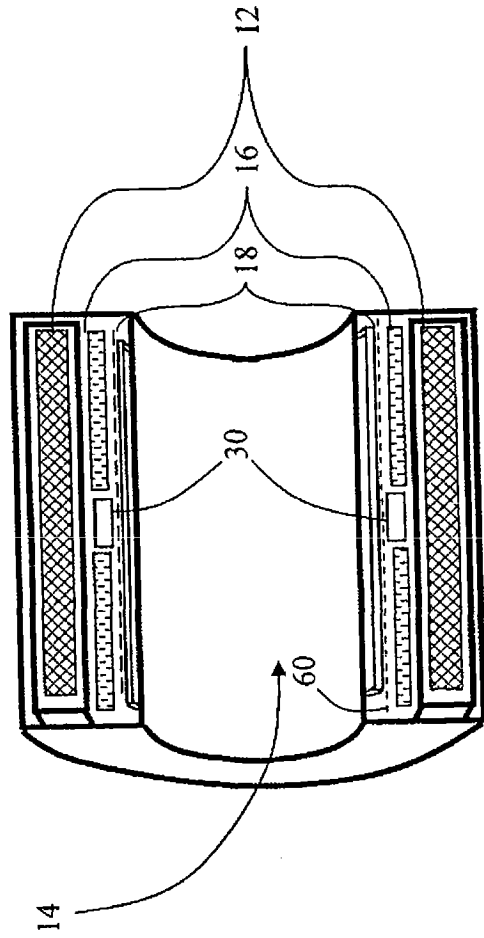


图 3

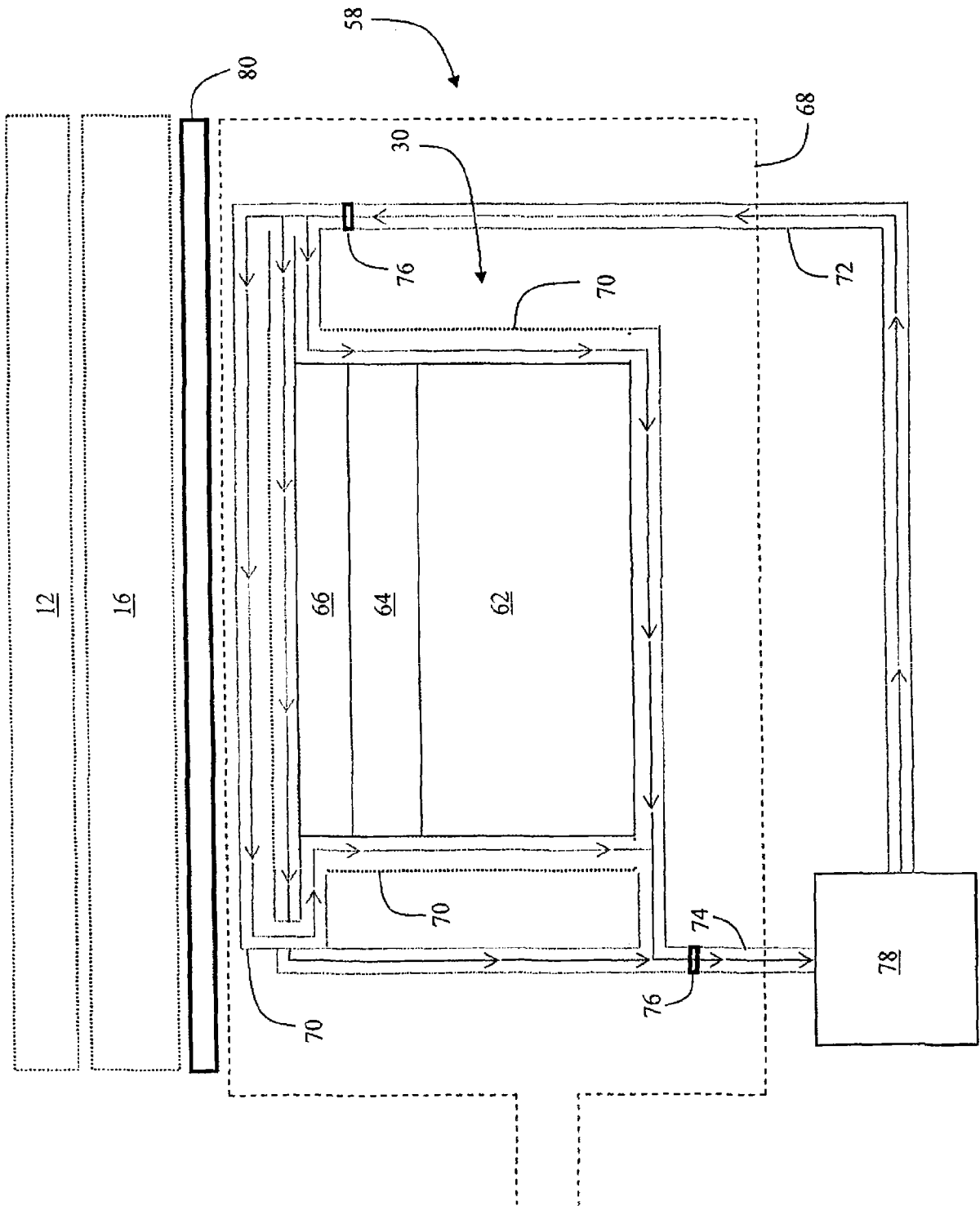


图 4

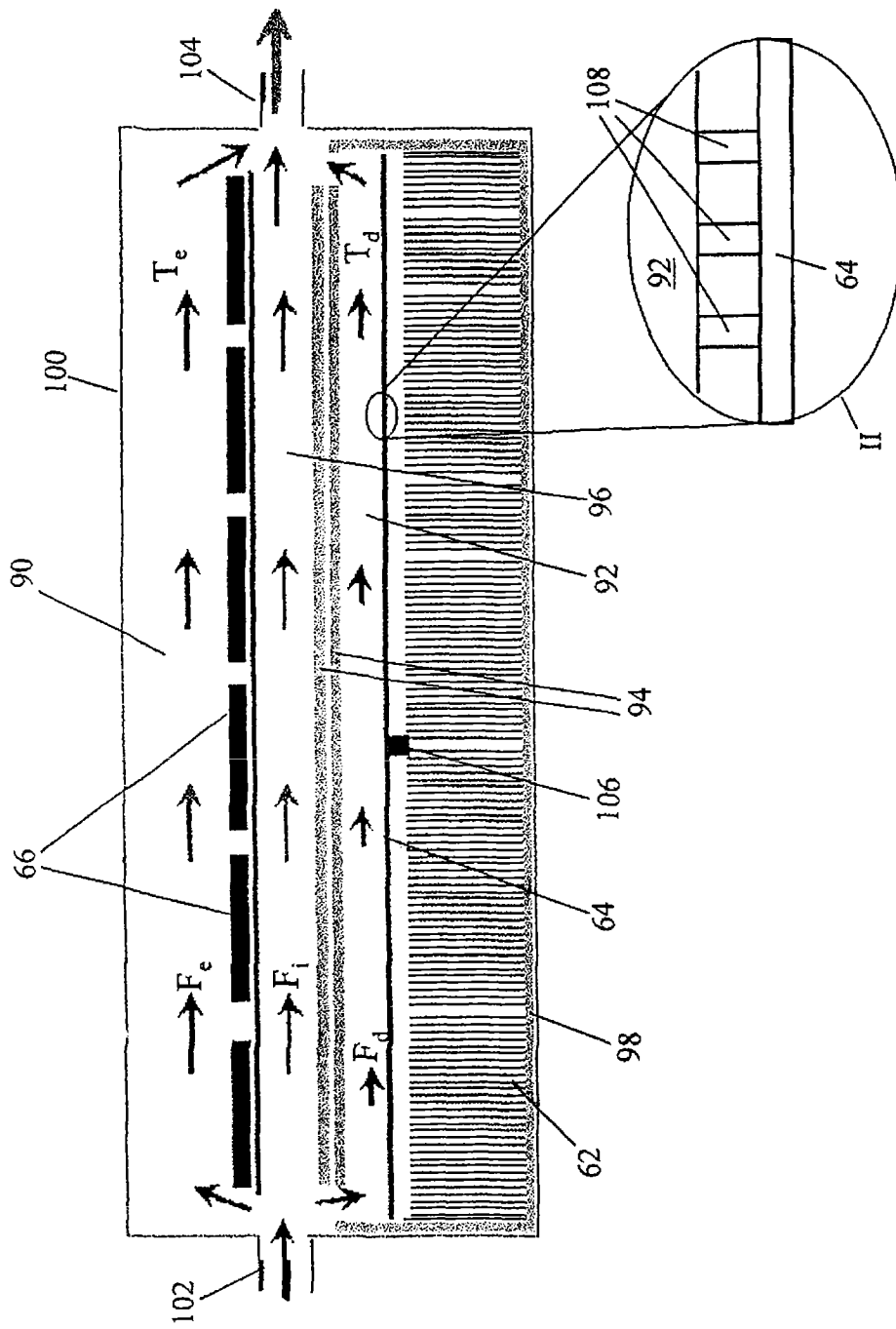


图 5

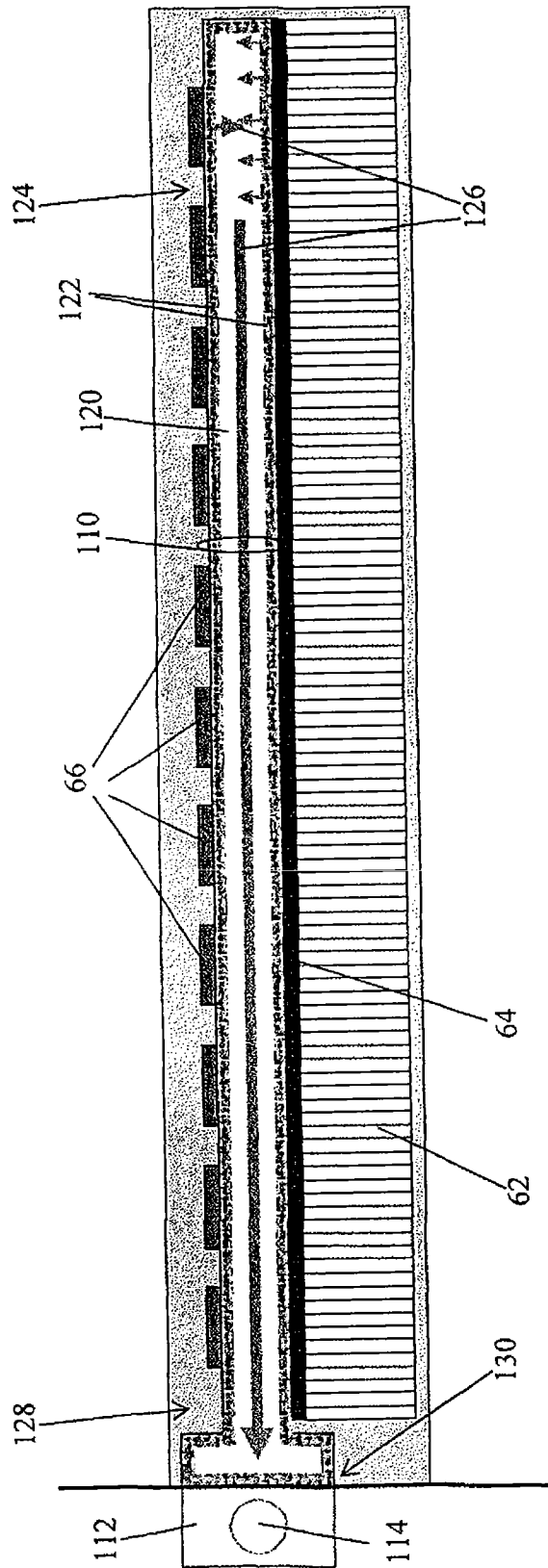


图 6

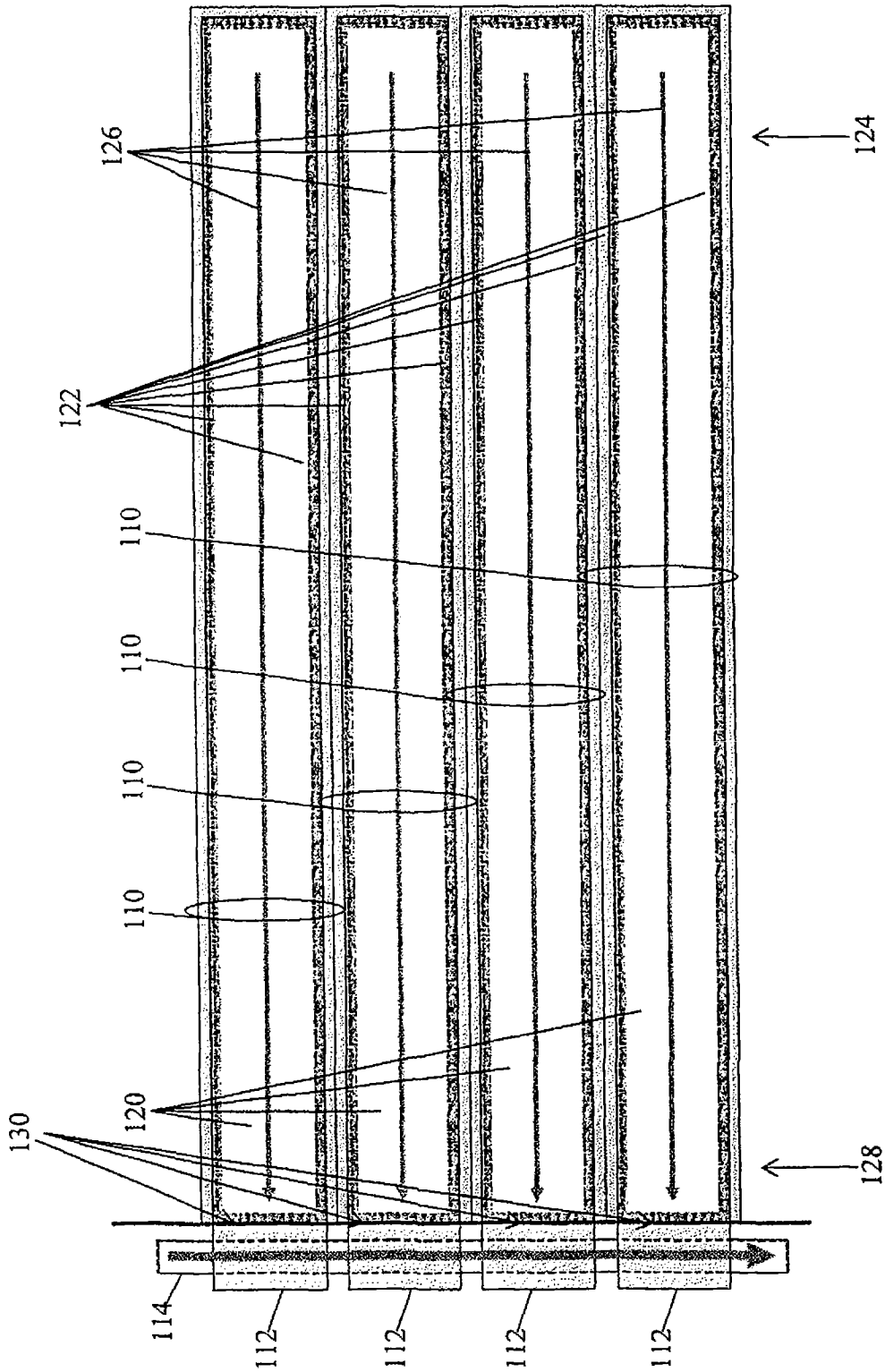


图 7

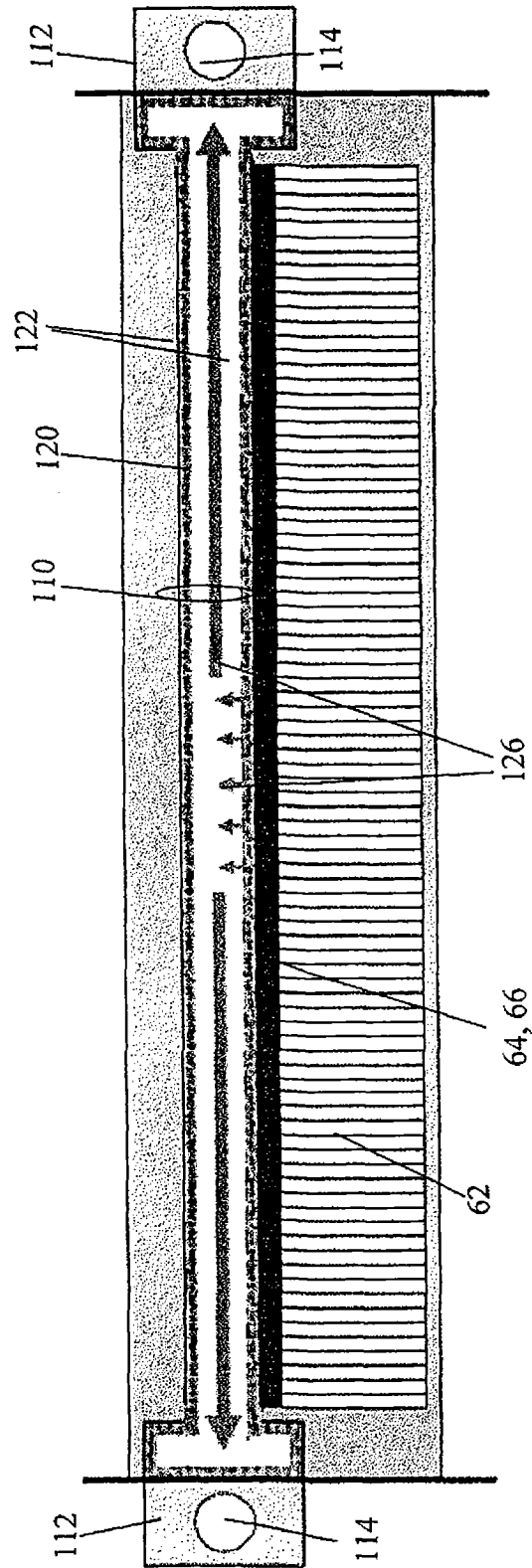


图 8