



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101933404 B

(45) 授权公告日 2015. 07. 08

(21) 申请号 200980101864. X

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009. 01. 09

H05H 9/00(2006. 01)

(30) 优先权数据

(56) 对比文件

61/019944 2008. 01. 09 US

CN 101061759 A, 2007. 10. 24,

61/019958 2008. 01. 09 US

JP 昭 63-263168 A, 1988. 10. 31,

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

JP 特开 2004-139812 A, 2004. 05. 13,

2010. 07. 08

EP 0481865 A1, 1992. 04. 22,

(86) PCT国际申请的申请数据

US 5280252 A, 1994. 01. 18,

PCT/US2009/030589 2009. 01. 09

GB 585992 A, 1947. 03. 04,

(87) PCT国际申请的公布数据

CN 1535470 A, 2004. 10. 06,

W02009/089443 EN 2009. 07. 16

审查员 刘时雄

(73) 专利权人 护照系统公司

地址 美国麻萨诸塞州

(72) 发明人 W·贝尔托奇 R·J·勒杜瓦

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 王岳 蒋骏

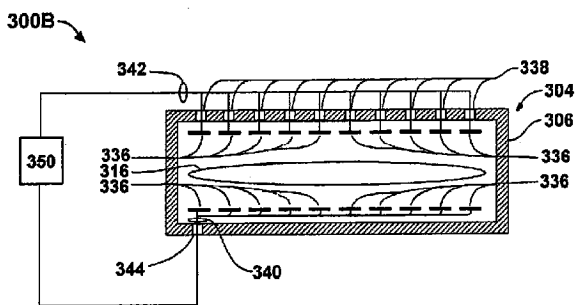
权利要求书1页 说明书12页 附图5页

(54) 发明名称

针对将电感用于生成具有局部旋度的电场的加速器的诊断方法和装置

(57) 摘要

本文描述了其中针对位置、电流和能量来监视加速器中的封闭导电腔体中的带电射束的方法和装置。一种方法使用非拦截导电电极上的感应电信号。另一种方法使用可以向射束中移动至不同的程度以在不同的径向位置处监视射束电流和垂直分布的拦截和移动式电极。还使用非拦截电极作为移动诊断探针的一部分以在不同的径向位置处监视射束的性质。另一种方法使用到电源的引线中的电流,此电流的一部分等于射束电流。另一种方法使用来自射束的穿透导电腔的不导电部分的磁场和电场。另一种方法使用在通过引导射束的偏转磁铁实现的射束加速期间发射的辐射。



1. 一种用于获得关于在加速器中环流的粒子束的诊断信息的装置,包括:

a) 对于包括加速器的一部分的真空室的圆周上的至少一个位置,设置在真空室内部的至少一个固定导电电极;

b) 对于每个固定导电电极,与之相连的引线;以及

c) 真空室的表面上的至少一个馈通;

其中,所述真空室围起抽真空式区;

其中,所述真空室围绕绝缘芯子的一部分;

其中,所述真空室包括导电部分和不导电间隙;

其中,每个固定导电电极通过与之相连的引线向设置在真空室外面的信息收集器件进行传送;

其中,每个引线通过馈通从真空室内部延伸到外面;以及

其中,每个固定导电电极在位置上是固定的,并且被设置为处于电磁地感测在真空室中的抽真空式区中环流的、并由施加在不导电间隙两端的电压加速的粒子束的位置上,并且被设置为不拦截粒子束。

2. 一种用于获得关于在加速器中环流的粒子束的诊断信息的方法,包括:

a) 对于包括加速器的一部分的真空室的圆周上的至少一个位置,在真空室内部设置至少一个固定导电电极;

其中,所述真空室围起抽真空式区;

其中,所述真空室围绕绝缘芯子的一部分;

其中,所述真空室包括导电部分和不导电间隙;

其中,每个固定导电电极在位置上是固定的,并且被设置为处于电磁地感测在真空室中的抽真空式区中环流的、并由施加在不导电间隙两端的电压加速的粒子束的位置上,并且被设置为不拦截粒子束,

b) 对于每个固定导电电极,设置与之相连的引线;

其中,每个固定导电电极被设置为通过与之相连的引线向设置在真空室外面的信息收集器件进行传送;

c) 在真空室的表面上设置至少一个馈通;

其中,每个引线通过馈通从真空室内部延伸到外面;以及

d) 从所述固定导电电极中的至少一个通过与之相连的引线向信息收集器件发送包括信息的信号,该信息是关于来自包含以下的组的至少一个射束特性:射束已绕真空室穿过的圈数;真空室的圆周周围的射束的位置;真空室中的射束的径向位置;真空室中的射束的垂直位移;真空室中的射束轨道的位置;射束的能量;以及射束的损耗。

针对将电感用于生成具有局部旋度的电场的加速器的诊断方法和装置

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求由 William Bertozzi 和 Robert J. Ledoux 在 2008 年 1 月 9 日提交并通过引用结合到本文的题为“Diagnostic Methods for an Accelerator Using Induction to Generate an Electric Field with a Curl Localized at a Gap”的美国临时专利申请序号 61/019958 的优先权和权益。本申请还要求同样由 William Bertozzi、Stephen E. Korbly 和 Robert J. Ledoux 在 2008 年 1 月 9 日提交并同样通过引用结合到本文的题为“Method for Accelerating Particles Using Induction to Generate an Electric Field with a Curl Localized at a Gap”的美国临时专利申请序号 61/019944 的优先权和权益。

技术领域

[0003] 在同样由 William Bertozzi、Stephen E. Korbly 和 Robert J. Ledoux 在今天提交的共同待决专利申请“Methods and Systems for Accelerating Particles Using Induction to Generate an Electric Field with a Localized Curl”中描述了用于粒子射束加速器的新型结构。该申请通过引用结合到本文中。加速器可以具有形状为环形或螺旋管形并充当加速器射束线 (beamline) 的真空室。射束线具有导电部分和充当加速间隙的不导电部分。存在于真空室的区域中的磁场控制真空室内的射束运动。加速器具有两个截然不同的电磁场区域。一个在真空室 / 射束线内部, 其中, 除磁引导场之外, 只存在由不导电加速间隙的区域中的加速电势产生的那些场和由真空室 / 射束线的导电部分的内壁上的射束电荷感生的那些场。另一电磁场区域在真空室 / 射束线外面, 其中, 激励 (exciting) 电流沿着真空室 / 射束线的导电部分的外表面行进。这两个区域仅经由不导电加速间隙耦合。本公开讲授用于监视新型加速器中的射束和射束性能的方法和系统。这些方法和系统中的某些还可以应用于其它类型的加速器。

背景技术

[0004] 通常根据粒子加速器的基本概念将其分组成不同的类别:

[0005] 1) 诸如 Van de Graaff 加速器等使用恒静电场的那些;

[0006] 2) 诸如线性加速器等利用沿直线的射频腔的那些;

[0007] 3) 诸如电子感应加速器 (betatron) 等使用由时变磁场感生的电场来使粒子加速的那些; 以及

[0008] 4) 诸如回旋加速器、同步加速器、电子回旋加速器、跑道式电子回旋加速器或 Rhodotron™ 等使粒子束环流通过射频腔而达到期望能量的环形加速器。

[0009] 已使用不同的名称来描述这些类别所表示的思想及其表示的概念的不同组合, 因为已认识到其在不同的应用中是有利的。在诸如 M. S. Livingston 和 J. P. Blewett 在 McGraw Hill Book Company, Inc., New York, 1962 中所著的“Particle Accelerators”等关于加速器设计的书中进行了许多讨论。其全部应用磁场和电场中的基本麦克斯韦场方程和粒子

动力学来使粒子加速并形成加速射束。

[0010] 具有一定程度的复杂性的大部分粒子加速器需要用于监视和控制其产生的射束的方法和系统。常常将此类系统称为诊断系统或简称为“诊断”。在本文中部分地描述且在由 William Bertozzi、Stephen E. Korbly 和 Robert J. Ledoux 提交的共同待决申请“Methods and Systems for Accelerating Particles Using Induction to Generate an Electric Field with a Localized Curl”中更全面地描述的新型加速器的情况下,加速器的特定特性引入对监视和控制射束的过程的唯一要求。由于射束主要在除加速间隙处之外的导电外壳内部行进,所以其不容易接近以进行诊断测量。在这种情况下,监视射束的传统方法包括使用位于射束轨道中的不同位置处的拦截射束止动件 (stop) 或能够感测射束位置和 / 或尺寸且能够在真空室内移动的探针。这些传统技术要求用于活动探针的真空耦合器 (coupling) 和 / 或馈通 (feedthrough)。本文公开的是特别适合于新型加速器设计的技术和装置。这些技术和装置中的某些还适合于供其它加速器类型使用。

发明内容

[0011] 类似于其它类别的加速器,在由 William Bertozzi、Stephen E. Korbly 和 Robert J. Ledoux 提交的共同待决申请“Methods and Systems for Accelerating Particles Using Induction to Generate an Electric Field with a Localized Curl”中公开的加速器也使用麦克斯韦方程的管限规则,但是在新型方法中,其不能等同于上列传统粒子加速器组的任何构思或应用。这种加速器的基本元件是:

[0012] 1) 磁芯,其可容纳时变 B 场 (B-field);

[0013] 2) 电源,其能够提供适当的电压和电流。

[0014] 3) 导电真空室,其围绕磁芯的一部分并具有不导电间隙 (non-conducting gap); 以及

[0015] 4) 磁引导场,其在粒子获得能量时在稳定轨道中在真空室的内部周围引导粒子。

[0016] 根据在由 William Bertozzi、Stephen E. Korbly 和 Robert J. Ledoux 的共同待决申请“Methods and Systems for Accelerating Particles Using Induction to Generate an Electric Field with a Localized Curl”中详细描述的方法和系统,可以使任何带电粒子加速,并且可以有宽极限 (limit) 内的任何能量,只由用于电绝缘、电源能力、磁铁等的现有技术的实际极限施加所述极限。该方法以接近 100% 的高占空比实现大射束电流。不需要对调谐腔体进行馈送的射频发电机。电压源可以向射束提供能量。能量经由耦合到在间隙处拥有旋度 (Curl) 的电场被传送给粒子。

[0017] 由于这种加速器的特性,监视注入 (injection)、捕捉、加速至最终射束能量和提取的过程由于真空室的内部和外部区域的电磁分离而是个挑战。监视射束的某些标准方式是使用位于射束轨道的不同位置处的拦截射束止动件或能够发送由电感 (induction) 或射束拦截生成的信号的活动或固定射束探针。这些技术要求有用于固定和 / 或活动探针的真空耦合。我们将此类方法包括在本文中作为公开内容。为了避免射束的拦截,对于观察来自射束产生过程的相关阶段的信号而言,优选非拦截换能 (transducing) 元件。因此,必须导出各种信号以允许监视射束的状态。因此,本公开的目的是提供用于在示例性新型加速器中注入、加速、传播、和提取带电粒子束的诊断、测量系统、和控制系统,应认识到所公

开的某些方法和装置还可以具有更广泛的应用。

附图说明

[0018] 图 1 示出系统的一个实施例,其举例说明具有设置在供本文公开的某种诊断方法和装置使用的真空室的不导电间隙两端的电源的加速器的细节;

[0019] 图 2 示出图 1 所示的实施例的近似等效电路;

[0020] 图 3A 示出类似于图 1 的系统并具有带有矩形横截面的真空室的系统的一个实施例;

[0021] 图 3B 示出图 3A 的系统的一部分的横截面图,举例说明本文公开的诊断方法和装置的实施例;

[0022] 图 4 示出包括用于检测电源引线中的电流的电流传感器的另一实施例;

[0023] 图 5 是用于实施例的电流传感器的电路的示意图;

[0024] 图 6 是图 3A 所示的系统的一部分的横截面图,示出采用同步辐射检测的另一实施例;

[0025] 图 7 举例说明采用外部电磁传感器的另一实施例;

[0026] 图 8A 示出与图 3A 的系统类似的系统并举例说明另一实施例;

[0027] 图 8B 示出图 8A 的系统的一部分的横截面图,举例说明该图的实施例的第一操作位置的细节;以及

[0028] 图 8C 示出图 8A 的系统的一部分的横截面,举例说明该实施例的第二操作位置的细节。

具体实施方式

[0029] 本文公开的方法和装置可以帮助诊断加速器的初始调谐期间、加速器的标准工作期间的操作质量,并且用于控制诸如能量、强度和时间的期望射束参数。

[0030] 所公开的用于监视射束的加速和射束的性质的方法和装置将耦合器用于经由电场和磁场带电的粒子束、在腔体壁中流动的镜像电流 (image current) 和在加速过程期间发射的辐射。该方法和装置可以适用于许多加速方法。本文的示例性公开是用于新型加速器,该新型加速器经由到在间隙处拥有旋度的电场的耦合器和在导电壁中流动的镜像电荷向粒子传送能量,但该方法不单独限于此类加速。它们更加普遍,并且其对其它加速器形式的适用性将被本领域的技术人员认识到并意图涵盖在本公开内。

[0031] 为了监视加速器的操作,可以使诊断元件与加速器及其电学和磁性特征的动态行为以及被加速的粒子的性质匹配。注入、捕捉和加速至最终射束能量的成功可能要求监视加速过程的多个阶段处的射束参数。监视方法可以指示该过程的不同阶段期间的诸如能量和强度等射束参数的质量。因此,可以依照加速器本身的那些元件和其组件的性质及其组件的操作来设计诊断元件。

[0032] 图 1 是供本文公开的诊断技术使用的示例性加速器的实施例的示意图 100。在由 William Bertozzi、Stephen E. Korbly 和 Robert J. Ledou 的共同待决申请“Methods and Systems for Accelerating Particles Using Induction to Generate an Electric Field with a Localized Curl”中公开了此加速器。真空室 104 充当射束线并具有导电部分 106

和将称为不导电间隙 108 的不导电部分。真空室 104 的横截面通常可以是管状的（圆形或矩形、或其它横截面），并且形状可以是螺旋管形的，诸如所示的圆环形状，或者可以具有允许射束在内部循环 / 环流通过的其它闭合路径连接。剖面图 (cutaway) 114 提供在真空室 104 内循环的带电粒子束 116 的视图。射束 116 是例如（但不限于）电子束，并具有例如沿箭头所指示的方向运动的一个或多个电子。剖面图 114 仅仅是出于说明性的目的且不表示真空室 104 中的实际开口。不导电间隙 108 具有间隙长度 d 110。真空室 104 的导电部分 106 具有壁厚度 w 112。磁引导场 134 是 B 场并沿着闭合循环路径引导射束 116 中的射束粒子通过真空室 104。磁引导场 134 仅仅被示意性地指示为单个通量线，但是应认识到磁引导场可以是复杂的，可以由多个磁性元件（未示出）产生且可以通过真空室 104 的多个或所有部分以有效地引导和 / 或集中射束 116。真空室 104 围绕绝缘芯子 (induction core) 102 的一部分。真空室 104 的导电部分 106 具有被不导电间隙 108 分隔开的两个末端 118、120。用传统真空密封技术来密封导电部分 106 和不导电部分 108 的末端 118 和 120 之间的接合点 (joint)。电引线 128 将末端 118 和 120 连接到电源 122。电源 122 具有可以是正端子且连接到末端 120 的第一端子 124。电源 122 具有可以是负端子并连接到末端 118 的第二端子 126。电源 122 提供电压 V ，其可以是时变电压，并且可以以方波的形式或用其它适当波形周期性地振荡并使极性反转。

[0033] 作为理解实施例 1 中的加速器的操作的辅助，暂时考虑理想化情况，其中将真空室 104 的导电部分 106 视为绝缘芯子 102 的一部分周围的环形路径中的全导体。暂时认为电源 122 是被表征为具有零输入或输出阻抗的理想化电压源。当将电源连接到真空室 104 的导电部分 106 的末端 118 和 120（因此还跨越真空室 104 的不导电间隙 108）时，由 $dI_o/dt = V/L$ 给出的电流在导电部分 106 中流动，其中，由绝缘芯子 102 组分的磁性性质和诸如绝缘芯子 102 的横截面积等电感的几何方面来确定 L ，即由导电部分 106 形成的一圈电路 (one-turn circuit) 的电感。由麦克斯韦方程施加的边界条件要求通过导电部分 106 的电流 I_o 130 在真空室 104 的导电部分 106 的外表面上。在真空室 104 内，除不导电间隙 108 的区域之外，由于施加的电压 V 或电流 I_o 而不存在电场或磁场，其中，电场 E_c 由几何结构给定为近似 V/d ，其中， d 是不导电间隙 108 的间隙长度 d 110。绝缘芯子 102 的作用是提供耦合到电源 122 的有限电感性阻抗，用 $dI_o/dt = V/L$ 来限制电流 I_o 130。

[0034] 仍考虑理想化情况，将用 qV 的能量增益来使穿过 (traverse) 真空室 104 中的不导电间隙 108 的带电粒子（电荷 q ）加速。由适当的磁引导场 134 在真空室 104 内部的绝缘芯子 102 周围引导此粒子。该粒子在真空室 104 中不经历减速场 (retarding field)，因为除由粒子本身的电荷在壁上感生的那些之外，所有场（除下文所讨论的静磁引导场之外）为零。随着粒子在绝缘芯子 102 周围行进，其重新进入并穿过真空室 104 中的不导电间隙 108，并且其能量再次增加增益 qV 。如果其进行了 n 个回路（或通过间隙的圈 (turn)），则其获得总能量 nqV 。一个完整路径中的 $E \cdot dl$ 的真空室 104 内部周围的路径积分 (path integral) 是 V 。这里， E 是真空室 104 中的电场且 dl 表示用于射束路径的路径长度微分 (differential)（使用粗体量来表示矢量）。 E 在导电部分 106 中是零且在不导电间隙 108 中等于 E_c 。应认识到 E_c 是不导电间隙的区域中的位置的复函数，而不是如近似关系式 $E_c = V/d$ 所暗示的常数。出于简化讨论的目的，在本文中未详细地进行描述。然而，无论此复杂变化如何，大部分的场 E_c 位于不导电间隙的附近且一个完整路径中的 $E \cdot dl$ 的路径积分严

格地为 V 。也就是说,此电场具有用于其矢量字符的旋度。其将此电场与闭合路径周围的 $E \cdot dl$ 的积分为零的静电场区别开。根据本领域的技术人员众所周知的技术,采用传统方法(未示出)向真空室 104 中注入和/或从真空室 104 提取射束 116。

[0035] 因此,在此理想化情况下存在两个截然不同的电磁场区域。一个在真空室 104 内部,其中,只存在由不导电间隙 108 的区域中的 V 所产生的那些场,由真空室 104 的导电部分 106 的内壁上的粒子电荷 q 所感生的那些场和组成磁引导场的那些场。其它场区在真空室 104 的导电部分 106 外面,其中,来自 $dI_0/dt = V/L$ 的电流 I_0 130 沿着导电部分 106 的外表面行进。这两个区域仅经由不导电间隙 108 耦合。

[0036] 仍考虑理想化情况,在真空室 104 的导电部分 106 的内表面上感生的镜像电荷形成电流 I_1 132 并沿着与射束 116 中的一个或多个粒子的路径相同的方向沿内表面行进。电流 I_1 132 在幅值上等于一个或多个粒子的电荷的流速且符号相反。当一个或多个粒子是例如一个或多个电子时,此镜像电荷是正的。当射束 116 中的一个或多个粒子到达不导电间隙 108 处的导电部分 106 的末端 118 时,其仅仅穿过真空室中的不导电间隙 108 并获得能量 qV 。然而,感生的镜像电荷(及因此的电流 I_1 132)只好来到导电部分 106 的外表面。在到达末端 118 处的外表面时,电流 I_1 132 穿过电引线 128 并通过电源 122,其具有理想的零阻抗。因此,在本示例中,从镜像电荷得到的电流 I_1 132 流过电源 122、电引线 128,并在末端 120 处进入真空室 104 的导电部分 106 的内壁,接近于具有电压 $+V$ 的不导电间隙 108,并在末端 118 处在导电部分 106 的内壁处离开(在所述内壁处电压是零),并返回到电源 122。镜像电荷流提供流入电源中的等于射束 116 的电流的附加电流 I_1 132。镜像电荷流是镜像电流。因此,电源提供功率以激励绝缘芯子 102,另外,其经由与镜像电荷或镜像电流的此耦合向射束 116 提供功率。

[0037] 到目前为止,在讨论中,已将导电部分 106 视为没有电阻性阻抗的理想情况。在真实(非理想化)情况下,在本公开的工作示例性加速器中,必须考虑有限的电阻。在关于电磁理论的许多论文中很好地处理这种情况。参照 J. D. Jackson 所著的书(“Classical Electrodynamics”, Third Edition, John Wiley & Sons, 1999),在多处论述了本主题。特别地,在第 5 和 8 章中,其显示有限的导电率的主要效果是使电流和场局限于称为“表皮厚度 (skin thickness)”的表面的区域。这意味着在理想化全导体的表面处消失的场现在穿透本工作加速器的真实导体,但随着 $e^{-x/\delta}$ 而消失,其中, x 是垂直于表面的距离且 δ 是表皮厚度。 δ 的值取决于真空室 104 的导电部分 106 的电阻率和所考虑的外部相关电磁场的频率。例如,在对于铜而言的 2.5kHz 下, δ 约为 1.3mm。通过保证导电部分 106 的壁厚度 w 112 在相当程度上大于 δ ,仍有效地对真空室的内部和外部区域进行电磁解藕。然而,不导电间隙 108 仍促使镜像电荷电流 I_1 132 从电源 122 的 $+V$ 侧流入真空室 104 的导电部分 106 的内表面且镜像电荷电流 I_1 132 从导电部分 106 的内表面流出到电源 122 的低电位侧。在真实情况下,电流 I_1 132 和电流 I_0 130 的流动的欧姆电阻在导电部分 106 中不再是零(如在上文讨论的理想情况下一样),但是可以在电流分布在如上所述的内表面和外表面的表皮厚度中的情况下使用流过具有电阻率 p 的介质的电流的标准表达式来进行评估。通常,对于诸如铜的良导体及对于几何结构和本文所考虑的频率下的 δ 值而言,这些损耗与其它元件的功率消耗相比可能是低的。

[0038] 不能用标准固定电路参数来表示通过在不导电间隙 108 处经由导电部分 106 的末

端 118、120 流入真空室 104 的镜像电荷实现的电源 122 到真空室 104 中的射束 116 的耦合。然而,可以构造等效电路以说明本文所述的功能性行为。这在图 2 中示出。

[0039] 图 2 是图 1 所示的加速器的近似等效电路示意图 200。参照图 1 和 2,在示意图 200 中用符号 L 来表示由绝缘芯子 102 周围的真空室 104 的导电部分 106 形成的一匝线圈的电感。在示意图 200 中用流过电阻 R_0 的电流 I_0 来表示由于导电部分 106 的有限导电性而引起的外表面电流 I_0 130 的能量耗散。由等式 1 来决定此电流 I_0 :

$$[0040] \quad V - LdI_0/dt - I_0R_0 = 0 \quad (\text{等式 1})$$

[0041] 用流过在示意图 200 中用符号 R_1 给出的电阻的电流 I_1 来表示导电部分内部的感生镜像电流 I_1 132 的能量耗散。符号 CBP 表示射束 116 经由导电部分 106 内部的感生镜像电流 I_1 132 到电源 122 的射束耦合。此感生镜像电流由 $I_1 = I_b$ 给出,其中, I_b 是由于射束 116 而引起的真空室 104 内部的环流 (circulating) 射束电流。由电源 122 通过不导电间隙 108 经由射束耦合 CBP 来提供镜像电流 I_1 132。总电源 122 电流是 :

$$[0042] \quad I = I_0 + I_1 = I_0 + I_b \quad (\text{等式 2})$$

[0043] 因此,来自电源 122 的总电流是激励绝缘芯子 102 中的磁通量的电流 I_0 130 与由于射束 116 而引起的电流 I_b 的和。电源 122 向绝缘芯子 102 中的磁场和射束 116 提供能量。如果不存在射束 116,则只提供磁能。由 $P = V(I_0 + I_b)$ 给出电源 122 所提供的功率。在任何实际情况下,由于 R_0 和 R_1 的耗散而引起的损耗与由于迟滞和内部电流而引起的磁绝缘芯子 102 中的耗散相比是小的,因此可以忽略欧姆损耗。 RI 中的耗散导致环流射束 116 的能量增益的下降。通常,此减小比用于每个循环的 qV 射束能量增益小得多,并且除评估最终粒子能量之外,在射束动力学方面再次可以忽略。

[0044] 再次参照图 1,示出上述加速器的一种示例性结构。绝缘芯子 102 形成完整的磁路。真空室 104 为射束 116 提供抽真空式区以绕着绝缘芯子 102 而环流。射束 116 被约束所有射束轨道的磁引导场 134 引导至位于真空室 104 的界限 (confine) 内。真空室 104 (虽然不一定是圆形形状) 围绕绝缘芯子 102。电流 I_0 130 在真空室 104 的导电部分 106 的外表面上流动。不导电间隙 108 具有跨接在其而连接的电源 122。电流 I_0 130 和 $I_b =$ 电流 I_1 132 流出电源 122 的第一端子 124 (正端子) 并流入电源 122 的第二端子 126 (负端子)。在图 1 中,电源 122 如上文所讨论的那样在其端子 124、126 两端提供电压 V , 并且第一端子 125 作为 + 的表征和第二端子 126 作为 - 的表征仅意味着当 V 是正的时, + 处于高于 - 端子的电位。

[0045] 对于类似于与系统 100 的加速器 (图 1) 而言,监视注入、捕捉、加速至最终射束能量和提取的过程由于真空室的内部和外部区域的电磁分离而是个挑战。监视射束的一种方式是使用位于射束轨道的不同位置处的拦截射束止动件。这种技术要求采用真空密封耦合器以便从外面操作真空室内部的固定和活动探针。我们将此类方法包括在本文中作为公开内容。为了避免射束的拦截,可以采用非拦截换能元件来观察并转送来自射束产生过程的相关阶段的信号。这些元件可以获得磁感应和电感应信号且可以包括固定和活动真空密封耦合器。

[0046] 注入和捕捉的过程对于加速器的成功而言是关键。例如,电子枪可以存在于内部半径处且可以产生一束粒子,其 (1) 与电压 V 到加速腔的不导电间隙的施加同步,并且 (2) 其持续由当前的应用确定的持续时间。在一个实施例中,其可以是粒子的短突发

(burst),使得该突发在前沿(leading edge)完成真空室的一个回路之前已经结束。在另一实施例中,其可以是只要绝缘芯子从 $-B_c$ 扫至 $+B_c$ 就持续的粒子的长突发,其中, B_c 是绝缘芯子中的最大场;在某些情况下,可能期望 B_c 可以接近或达到芯饱和。

[0047] 用于注入和捕捉的关键时期可以包括注入射束的真空室的几个至十几个回路或圈,使得如果已经成功地流转了(negotiate)那些回路,则认为捕捉到射束;如果未实现此数目的回路,则重要的将是理解注入射束已在哪里和何时丢失。

[0048] 当捕捉到时,射束前进而加速至全能量。然而,由于引导磁场的模式及其设计参数的缺陷,射束的一部分或整个射束可能在其获得最终能量的途中丢失。知道此丢失何时在哪里发生对于诊断问题和进行调整以缓解或修正该情况是必不可少的。

[0049] 全能量下的射束的提取还可能要求向射束施加特殊的磁和/或电信号以将其踢出稳定轨道而被提取系统捕捉。因此,具有确定射束已达到全能量的一个或多个信号同样重要。

[0050] 在加速器的例行操作期间,射束特性可能受到许多变量的影响,包括但不限于温度和电压波动、环境变化和意外疏忽。

[0051] 具有用于在所有操作阶段监视和诊断射束特性的方法是重要的。本文公开了方法和装置,由此,来自非拦截和拦截换能元件的信号允许确定加速器中的射束的各种属性,诸如:

- [0052] 1.) 执行的真空室的回路或圈的数目;
- [0053] 2.) 感兴趣的每个位置处的射束的能量;
- [0054] 3.) 每个回路或圈和位置处的射束的强度;
- [0055] 4.) 射束绕着其平衡轨道的运动;
- [0056] 5.) 发生射束丢失的位置和时间;
- [0057] 6.) 空间电荷对射束强度和轨道运动的影响;
- [0058] 7.) 加速器的操作质量和用于微扰的缓解策略的效果;以及
- [0059] 8.) 提取的射束的有效占空比。

[0060] 本文所述的实施例是用于在加速期间监视带电粒子的本文公开的技术的可能应用的示例。虽然在对几种特定示例性加速器类型的应用中讲授了实施例,但应认识到其具有更广泛的适用性。本领域的技术人员应认识到存在所公开的重要元件的扩展、修改及其它布置,其能够实现并且其意图涵盖在本公开的范围之内。

[0061] 在一个实施例中,换能元件由不拦截射束的导电电极组成,其位于粒子束路径之外的室中的不同位置处。此类示例性实施例在图 3A 和 3B 中示出。

[0062] 图 3A 是举例说明除真空室 304 的横截面为(例如但不限于)矩形之外在构造和操作上与图 1 所示类似的示例性加速器的系统 300 的图示 300A。真空室 304 充当射束线并具有导电部分 306 和不导电部分(也称为不导电间隙)308。真空室 304 的导电部分 306 具有由被用作加速间隙的不导电间隙 308 分开的两个末端 318、320。用传统真空密封技术来密封导电部分 306 与不导电间隙 308 的末端 318 和 320 之间的接合点。假想割平面 330 限定沿如所指示的方向 A-A 的横截面图的位置,该方向 A-A 切割真空室 304 的导电部分 306。加速器具有电感芯子(inductive core)102。

[0063] 图 3B 是在沿着(图 3A 的)方向 A-A 看的割平面 330(图 3A) 截取的图 3A 的系统

300 的一部分的横截面图 300B, 示出真空室 304 的导电部分 306 并示出图 3A 未示出的附加细节。

[0064] 参照图 3B, 真空室 304 的导电部分 306 围起行进到纸张的平面中且在此视图中由其横断面轮廓 (例如, 椭圆形) 指示的射束 316。一个或多个导电电极 336 被安装在真空室 304 的导电部分 306 内。导电电极 336 通过传统手段 (未示出) 与真空室 304 的导电部分 306 的壁电隔离并通过室的壁提供有外部连接。导电电极 336 可以是多个且可以布置成规则阵列 (如所示) 或可能期望的另一图案, 并且可以布置在射束 316 的一侧或多侧。每个导电电极 336 具有用于连接的电引线。每个引线可以如对于导电部分 306 的顶部处的引线所指示的那样通过单引线密封馈通 338 穿过真空室 304 的导电部分 306。在这种情况下, 引线 342 可以连接到用于监视和分析由电引线 342 从导电电极 336 传送的信号仪器 350。或者, 可以将引线捆成电缆 340 中并如针对在导电部分 306 的底部处的引线所指示的那样通过多引线密封馈通 344 穿过真空室 304 的导电部分 306。在这种情况下, 电缆 340 中的引线还可以连接到用于监视和分析来自导电电极 336 的信号仪器 350。(当然, 可以使用单引线馈通、一个或多个多引线馈通、或其组合。) 该仪器被设计为使得导电电极 336 每个可以呈现对电流的高 (相对于系统的其它导电路径而言) 电阻性阻抗。每个导电电极 336 将从在附近通过的射束接收由镜像电荷 q 产生的感生电压 V_I 。此 V_I 将根据电磁学的标准规则感生并将取决于电路的 q 、分布电容和阻抗。此 V_I 呈现一定量的射束电荷已在特定时间到达真空室 304 中的特定位置的信号。仪器 350 可以由为特定目的构建的仪器组成和/或可以包括通用微处理系统。

[0065] 此诊断方案提供关于加速器性能的以下信息:

[0066] 1.) 持续时间比用于一圈的时间少的射束电荷脉冲将 (根据电极位置和间距) 作为信号出现在经由感生电荷耦合的一个或几个导电电极 336 上。这些信号传送信息以确定射束 316 在其绕行真空室 304 时的位置, 并且当对脉冲进行计数时, 其可以确定已经执行的圈 (真空室 304 的回路) 的数目和来自每圈的损耗。也可以确定射束绕平衡轨道的幅度振荡, 和在每次通过真空室 304 的不导电间隙 308 处的加速区时使射束加速时的轨道位置的变化。通过计数在衬垫上感生的信号中的脉冲数目, 确定回路或圈的数目, 因此, 可以在任何时间知道射束的能量, 因为对于每圈而言, 能量增益是 qV (其中, 粒子的电荷是 q)。同样地, 可以在射束 316 已达到全能量时对其进行确定。还可以使用能量和导电电极 336 位置的相关性作为诊断方法。如果射束在真空室 304 的某个区域中丢失, 则可以通过连续圈的信号的变化幅度来确定此位置, 如射束丢失的开始可能的那样。

[0067] 2.) 如通过注入直至对于注入的第一批粒子而言达到全能量为止, 射束脉冲可以比在上述情况下长。在这种情况下, 仍可以通过在导电电极 336 上感生的信号的时序和幅度来监视射束 316 通过加速过程的前进。这允许在加速室充满电荷的情况下监视整个加速过程。射束 316 将具有从注入直至提取的所有能量下的分量, 并且不同的导电电极 336 将具有从不同能量的射束分量感生的信号。这允许经由真空室 304 中的空间电荷效应和残余气体中的离子生成对射束的不同分量的相互作用的效果进行附加监视。

[0068] 3.) 射束脉冲可以长于加速至全能量所需的时间, 以便实现较高的射束占空比。在这种情况下, 导电电极 336 上的信号将允许确定全占空比期间的操作质量并将提供控制和调整射束质量的机会。

[0069] 图 4 是包括与图 1 中的加速器类似的示例性加速器的系统 400 的图示,其具有用于检测流入用于加速器的电源 122 的电流的电流传感器的实施例。在图 4 中,具有与图 1 中的那些项目相同的参考标号的项目是具有相同功能的项目。换能元件可以测量从真空室 104 的导电部分 106 流入电源 122 的电流。参照图 4,通过在将电源 122 连接到真空室的导电部分 106 的末端 118、120 的任何一个电引线 128 中引入电流传感器 402,可以测量总电流 $I = I_o + I_b$ (参见图 2 所示的电路)。可以例如在连接点 C 和 D 处连接电流传感器 402。此电流传感器可以是电源 122 电引线 128 中的低阻抗电阻器;此电阻器两端的电压将指示通过电引线 128 的电流。(具有适当连接的电源 122 的内电阻可以用于相同的目的。)可以由电流传感器 402 生成表示电流 I 的信号并由一个或多个电引线 404 将其发送到仪器 406,仪器 406 可以由为特定目的构建的仪器组成和/或可以包括用于分析电流 I 和用于提取并处理附加信息且用于进行判定的通用微处理系统。

[0070] 图 5 是用于另一电流传感器实施例的替换电流传感器 402 的电路的示意图 500。现在参照图 4 和 5,在本实施例中,电流传感器 402 是变压器 502,例如环形变压器,其感测由来自电源 122 的电流 I 引起的磁场。来自变压器 502 的电压取决于电引线 128 中的电流 I 到电源 122 的时间变化率。本领域的技术人员将知道用于感测电流的其它方法且其意图包括在本公开内。

[0071] 可从这些电流传感器(传统电阻性电流传感器或变压器 502)之一获得的信号可以提供以下诊断性信息:

[0072] 1.) 持续时间比用于一圈的时间少的射束电荷脉冲对于射束的每转(“圈”)而言将作为电流脉冲出现在电源线中。通过计算这些脉冲的数目,可以确定成功地执行的圈数。将由所执行的圈数给定射束能量。通过测量每个脉冲的积分电荷(integrated charge),可以确定每圈的射束损耗。对于短射束电荷脉冲,可以监视注入过程、捕捉过程、加速过程和提取的成功。如果存在射束损耗,则可以确定已执行射束的圈数(和因此的射束能量)以及发生损耗的射束位置。

[0073] 2.) 可以在用于注入的第一批粒子实现最大能量所需的时间内连续地注入射束。在这种情况下,来自射束的电流随着射束转数的增加而增大。由于射束而引起的电源线中的电流随着时间的推移而增大。通过监视作为时间函数的电流,可以监视每圈处、每个径向位置处和每种能量下的射束条件。

[0074] 3.) 可以在大于实现最大能量所需的时间内连续地注入射束。在这种情况下,来自射束的电流随着射束转数的增加而增大。电流在提取了全加速射束时(或例如在使用内部射束目标时)停止增大。由于射束而引起的电源线中的电流随着时间的推移而增大并达到稳定值。通过监视作为时间函数的此电流,可以监视每圈处和每种能量下的射束条件。确定射束的有效占空比。

[0075] 4.) 对于所有射束持续时间,从线内电流到电源的信号将允许根据位置、时间和能量来确定射束的条件,并且该相关性将允许确定来自导电电极 336(图 3B)的信号的上文所讨论的相同效果。

[0076] 图 6 是在沿着(图 3A 的)方向 A-A 看的割平面 330(图 3A)截取的图 3A 的系统 300 的一部分的横截面图 600,示出真空室 304 的导电部分 306。图 6 示出另一实施例。参照图 6,在本实施例中,通过在射束 616 中的粒子被磁引导场 634(B 场,非详细仅示意性地

指出) 偏转 (deflect) 时从其加速辐射出的能量来监视射束, 所述磁引导场 634 将射束运动限制于真空室 304 内。射束 616 正向纸张的平面中行进, 并且在本视图中以其横断面轮廓 (例如, 椭圆形) 指示。由于通过在磁引导场 634 中的偏转实现的加速而引起的此辐射称为同步辐射。在小于约 10MeV 的能量下, 辐射在干扰粒子运动方面不具有非常大的效果。然而, 作为同步辐射而辐射的能量在诊断射束 616 的条件及其能量时有用。同步辐射的频率与真空室 304 的粒子轨道循环的频率相关且同步辐射的强度取决于粒子加速。在多个出版物和由 J. D. Jackson 所著的书 (“Classical Electrodynamics”, Third Edition, John Wiley & Sons, 1999) 中涵盖了此话题; 本文的参考涵盖本质细节。通常, 同步辐射采取可以被真空室中不拦截射束的小环路或探针检测到的高频无线电波的形式。频率取决于轨道的几何结构及其有效半径。以约 1m 的半径为轨道的 9MeV 电子束的频率通常低于 1013Hz。可以在真空室 304 的导电部分 306 内安装一个或多个同步辐射传感器 652A、652B、652C、和 652D (例如所识别的, 但不用于限制), 其用于检测射束 616 所发射的同步辐射。同步辐射传感器 652A、652B、652C、和 652D 可以是例如环路或探针并具有分别用于连接到用于向其发送信号的仪器 650 的电引线 654A、654B、654C、和 654D。电引线 654A、654B、654C、和 654D 分别通过密封电馈通电引线 656A、656B、656C、和 656D 延伸到真空室 304 的导电部分 306 外面。仪器 650 可以由为特定目的构建的仪器组成和 / 或可以包括用于分析同步辐射信号并用于提取和处理附加信息且用于进行判定的通用微处理系统。

[0077] 那些同步辐射信号可以提供以下诊断信息:

[0078] 1.) 对于持续了少于一圈的时间的射束电荷脉冲而言, 发射并在同步辐射传感器 652A、652B、652C、和 652D 上被拾取的辐射将具有脉冲性质并将与已进行射束 616 的转 (圈) 数相关。通过计算这些脉冲的数目, 可以计算自注入起成功地执行的圈数。由执行的圈数给出射束能量。通过测量每个脉冲的积分信号, 可以确定每圈的射束损耗。

[0079] 每圈的信号强度和此信号在不同频率下的强度将取决于射束能量和射束轨道的半径。因此, 转数与不同频率下的信号强度的相关性提供关于不同半径处和该电荷的能量下的射束电荷的信息。对于短射束电荷脉冲, 可以监视注入过程、捕捉过程、加速过程和提取的成功。如果存在射束 616 损耗, 则可以确定在损耗之前已执行射束的圈数 (和因此的发生损耗时的射束能量) 以及发生损耗时的射束位置。

[0080] 2.) 可以在用于注入的第一批粒子实现最大能量所需的时间内连续地注入射束 616。在这种情况下, 来自射束 616 的电流随着射束转数的增加和射束半径范围的增加而增大。不同频率下的信号强度和这些信号的时间发展提供处于不同能量下和不同位置处的射束进行的监视。

[0081] 3.) 可以在大于实现最大能量所需的时间内连续地注入射束 616。在这种情况下, 来自射束的电流随着射束 616 的转数的增加而增大。射束电流 I_b 在提取全加速射束时停止增大。由射束辐射的射频信号因此随着时间的推移而增大并达到稳定值。通过监视作为频率和时间函数的此信号模式, 可以监视每圈处和每种能量下的射束 616 的条件。确定射束 616 的有效占空比。

[0082] 4.) 对于所有射束持续时间而言, 由射束 616 辐射的射频信号将允许根据位置、时间和能量来确定射束 616 的条件, 并且该相关性将允许确定来自导电电极 (图 3B) 的信号和位于活动探针 (图 8A、8B、和 8C) 的信号检测器的在本文其它地方所讨论的相同效果。

[0083] 图 7 是举例说明另一实施例的系统 700 的图示。系统 700 的加速器类似于系统 300 的加速器,并且在图 7 中,具有与图 3A 和 3B 中的那些相同的参考标号的项目是具有相同功能的相同项目。在图 7 所示的实施例中,射束的监视取决于源自射束并穿透真空室 304 的不导电间隙 308 且被诸如作为示例示出的传感器 752 和 756 的一个或多个外部传感器感测的磁场和电场。这些信号的强度详细地说取决于系统的几何结构。一个或多个外部传感器 752 和 756 可以通过一个或多个电缆 754 连接到仪器 750。外部传感器 752 可以是静电传感器且可以具有用于接收感生电荷信号的一个或多个导电电极或导电电极阵列,其类似于上文所讨论的图 3B 的导电电极 336。然而,用于此外部静电传感器 752 的一个或多个导电电极不位于真空室 304 内。从外部静电传感器 752 获得的信号中的结果信息与由系统 300 的真空室 304 内部的导电电极提供的相同,不同的是外部静电传感器 752 的位置相对于方位角而言不灵活且只能位于真空室 304 的不导电间隙 308 附近。不导电间隙 308 的壁可以是非磁性电介质材料。外部传感器 756 是磁性传感器且可以包括用于直接感测与射束电流相关的磁信号的探针和 / 或环路,并且到磁场的耦合将类似于先前针对与以上电源线一起使用的环形电流传感器所描述的耦合,但该耦合是直接相对于存在的磁场。通过使用不同径向位置(未示出)处的多个外部磁性传感器 756,可以在不同的半径处检测射束电流。当如上所述(对于系统 400)感测到电源电流时,这增加不可能的空间特异性(specificity)。另外,该信息类似于从上述电源线中的电流导出的信息。仪器 750 可以由为特定目的构建的仪器组成和 / 或可以包括用于分析同步辐射信号并用于提取和处理附加信息且用于进行判定的通用微处理系统。

[0084] 图 8A 是举例说明包括在结构和操作上与图 3A 所示类似的示例性加速器的系统 800 的图示 800A。图 8A 中的具有也在图 3A 中示出的参考标号的项目是具有相同功能的相同项目。图 8A、8B、和 8C 一起示出用于感测射束性质的移动诊断装置的实施例。图 8B 和 8C 分别是在穿过移动诊断元件的位置处的真空室的割平面截取的系统 800 的一部分的横截面图 800B 和 800C,其示出真空室 304 的导电部分 306。

[0085] 参照图 8A 和 8B,真空室 304 的导电部分 306 围起行进到纸张的平面中(图 8B)并由其横截面形状(在本示例中为椭圆形)指示的射束 816。为方便起见,将沿着射束 816 的横截面椭圆的长轴的距离称为径向距离并将沿着射束 816 的横截面椭圆的短轴的距离称为垂直距离。在本实施例中,可以在附着于活动探针的一个或多个活动电极(包括 804、820、822、824、826、和 828)上检测与上文结合图 3B 所述的那些等效的信号。(请注意,在图 8B 中未示出 824 和 826,因为其被执行机构(actuator)的轴隐藏。在图 8C 中将其清楚地示出。)执行机构 802 可以是用于对活动探针的轴 804 赋予旋转运动 810 和直线运动 812 的旋转和直线运动执行机构。旋转运动 810 可以是循环的且可以是逐步式或连续的。直线运动 812 可以是往复的且可以是逐步式或连续的。旋转运动使轴旋转以便如例如图 8B 和 8C 所示地移动诸如 820、822 和 824 的电极。直线运动使诸如 820、822 和 824 的电极沿径向相对于真空室移位,亦即在图 8B 和 8C 中向左或向右。控制器 808 控制活动探针的运动并包括用于接收并处理从活动探针接收到的信号的仪器。诊断信号在电缆 818 上流到控制器 808 并控制来自控制器 808 的信号流。控制器 808 可以是为特定目的构建的和 / 或可以包括通用控制系统,其可以包括微型计算机或其它计算机系统且可以与未示出的其它系统通信。用允许传动旋转运动 810 和直线运动 812 两者的传统密封真空馈通 806,通过真空室

304 的导电部分 306 的壁对轴 804 进行馈送。真空馈通 806 可以是本领域的技术人员众所周知的许多传统手段中的任何一种,并且可以包括诸如但不限于波纹管、铁磁流体密封、滑动密封等组件。探针具有布置在附着于轴 804 的支撑体 828 上的导电电极 820。图 8B 示出导电电极 820,其在使得其拦截射束 816 的一部分以便在射束 816 的拦截部分处对射束电流进行采样的位置上。执行机构 802 可以提供直线运动 812 以在不同位置处对射束 816 进行采样。可以通过使用直线运动 812 将导电电极 820 设置为在某些取向上拦截射束以测量各种径向距离处的电流。也可以测量不同径向距离处的射束 816 的垂直尺寸。通过使用旋转运动 810 实现的轴 804 的旋转,可以使得导电电极向射束 816 中延伸不同的垂直距离。如图 8B 所示,导电电极 820 拦截射束 816 的采样部分的整个垂直范围。旋转至其它角度可以通过沿垂直方向至少部分地穿透射束并通过根据旋转运动 810 的角度测量被拦截射束电流来实现射束的部分拦截,可以由控制器 808 来确定任何给定径向距离处的垂直射束电流分布。

[0086] 图 8C 示出活动探针,其在不同的位置上,使得旋转运动 810 已使设备 90 相对于图 8B 所示的位置旋转 90 度。在图 8C 的位置上,导电电极 820 已旋转至使其不拦截射束 816 的任何部分的位置,同时,被支撑在支撑体 (826) 上的一个或多个导电电极 (822、824) 旋转至使得其位于沿垂直方向在射束 816 上面和下面的位置。(请注意,在图 8C 中未示出 828,因为其被此视图中的其它组件隐藏。其在图 8B 中清楚地示出。)导电电极 822 和 / 或 824 是相同的类型并充当图 3B 所示和上文所述的导电电极 336。导电电极 822 和 824 每个可以是单独的电极,或者可以是导电电极阵列。可以由执行机构 802 使导电电极 822 和 824 沿着直线运动 812 的方向移动以便在射束 816 的各种径向距离处对在导电电极 822 和 824 中感生的信号进行采样。

[0087] 通过使用图 8A、8B、和 8C 所述的活动探针,可以针对射束 816 的整个横截面范围对其横截面特性进行采样。活动探针可以可控地进行拦截或非拦截诊断。活动探针可以在某些位置上是拦截射束的且在其它位置上是不拦截射束的。在一种示例性配置中已示出活动探针,但是可以有且本领域的技术人员将认识到其它配置,并且其意图被本公开涵盖。在一种替换配置中,该探针与图 8B 相比可以在 90 度和 180 度两者处的取向上是非拦截的,以便感测两个不同位置上的电感生信号。比较两个位置上的感生应信号允许根据位置来确定射束的垂直位置和总电荷两者。在这种情况下,还可以在当拦截导电电极 820 旋转到射束 816 之外时移动至上下横跨射束的两个或更多绝缘非拦截导电电极 822、824 上检测信号。将从沿着活动探针的轴 804 的轴线位于不同位置处的电极导出这些不同的功能。可以通过使用安装在移动到不同位置的活动探针上的电极进行的此类测量来导出所有上述功能和信息。

[0088] 虽然已相对于所述方法和系统的特定实施例对其进行了描述,但其不限于此。很明显,按照以上讲授内容,可以清楚许多修改和变更。

[0089] 虽然已参照所公开的系统和方法的示例性实施例进行了特别显示和描述,但本领域的技术人员应认识到在不脱离本公开的范围的情况下可以对其进行形式和细节方面的各种变更。应认识到本公开也能够有在本公开的精神范围内的多种另外及其它实施例。本领域的技术人员应认识到或能够仅仅使用例行实验进行确定,许多例行实验等效于本文具体描述的示例性实施例。此类等价物意图涵盖在本公开的范围之内。

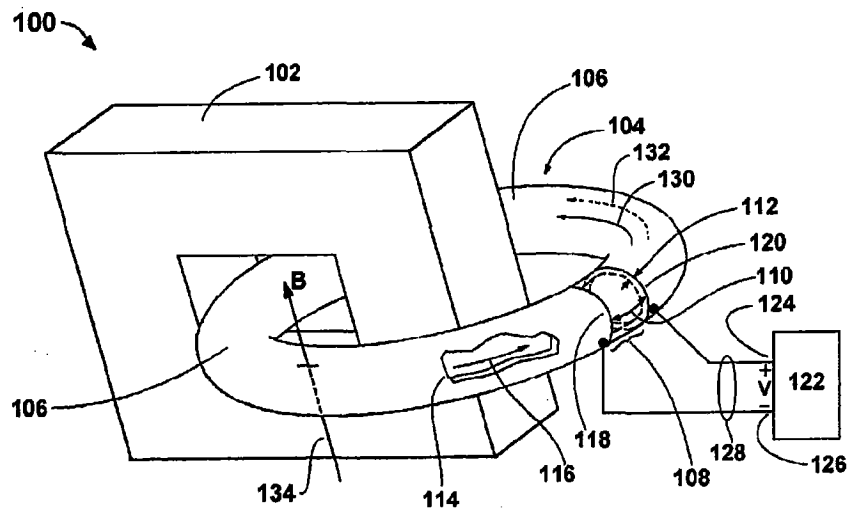


图 1

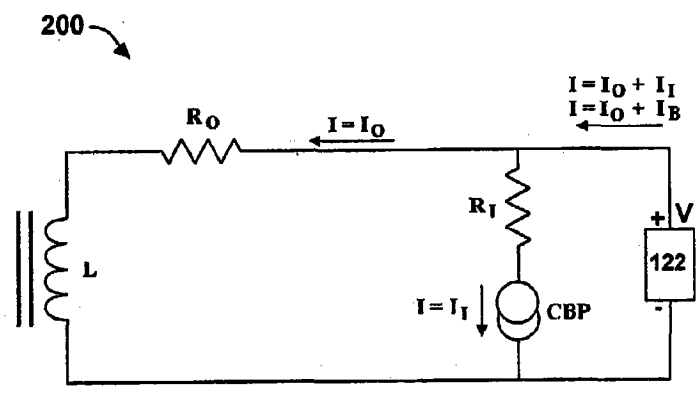


图 2

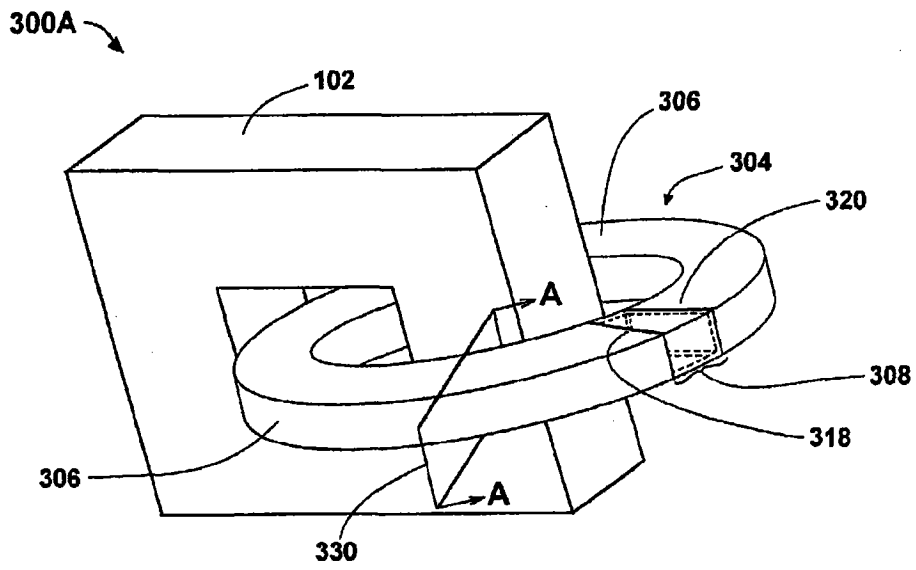


图 3A

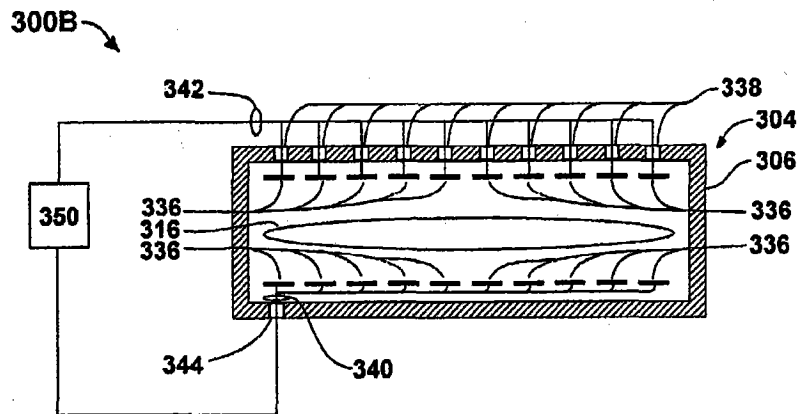


图 3B

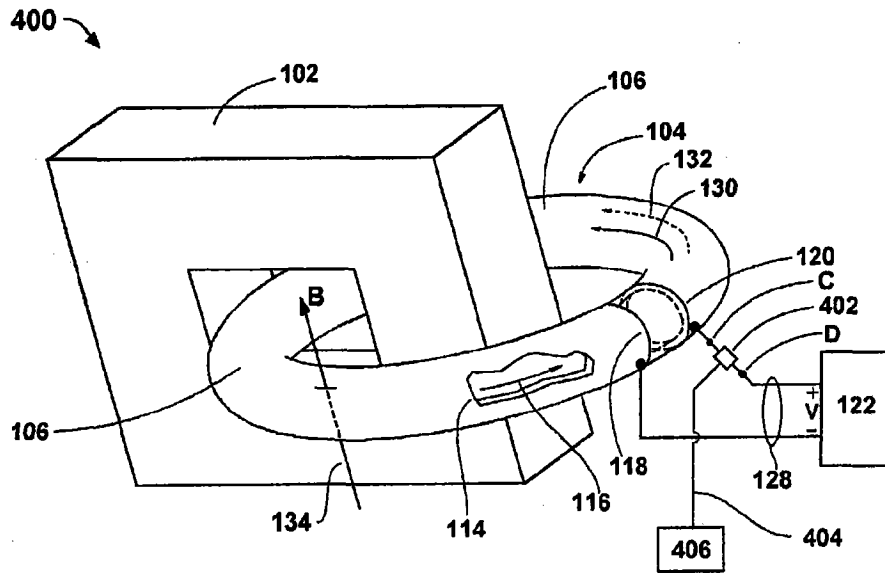


图 4

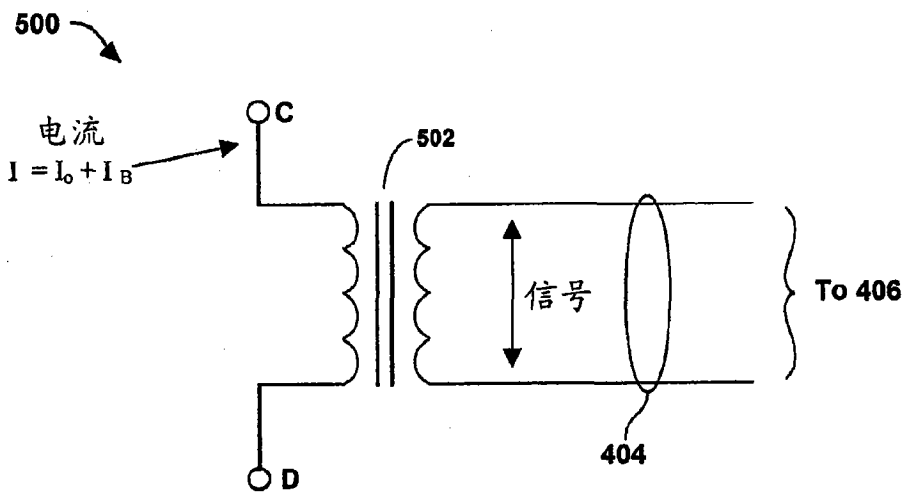


图 5

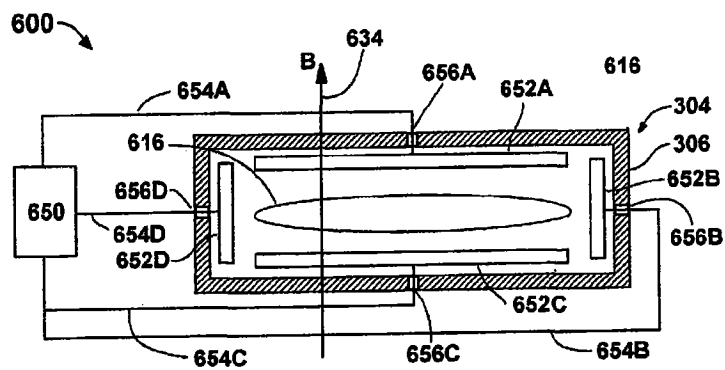


图 6

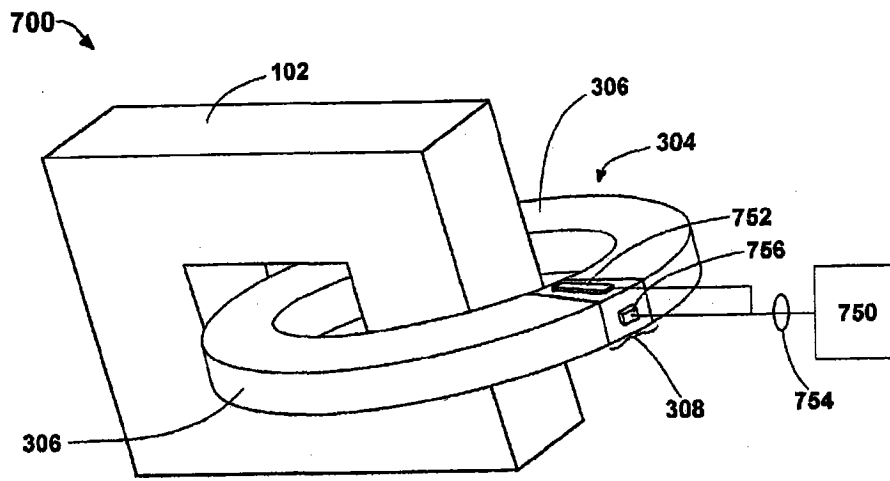


图 7

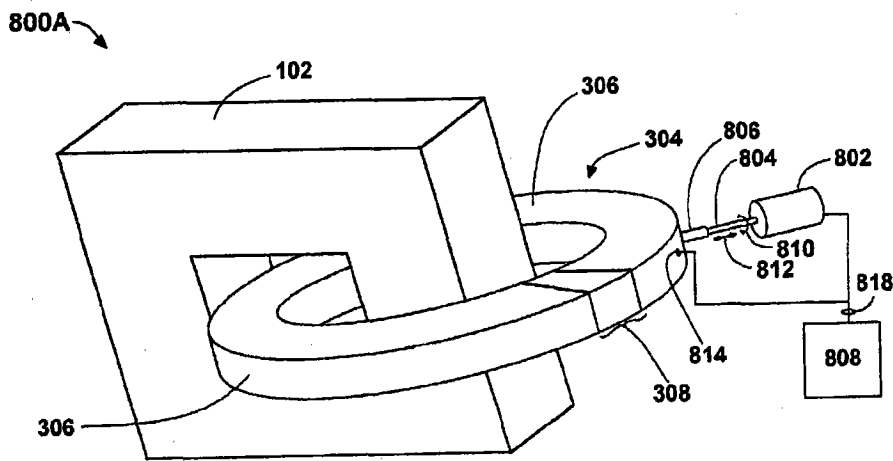


图 8A

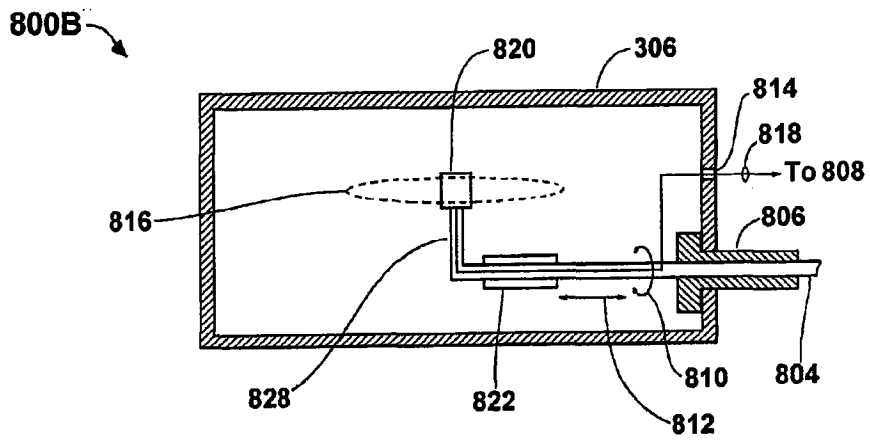


图 8B

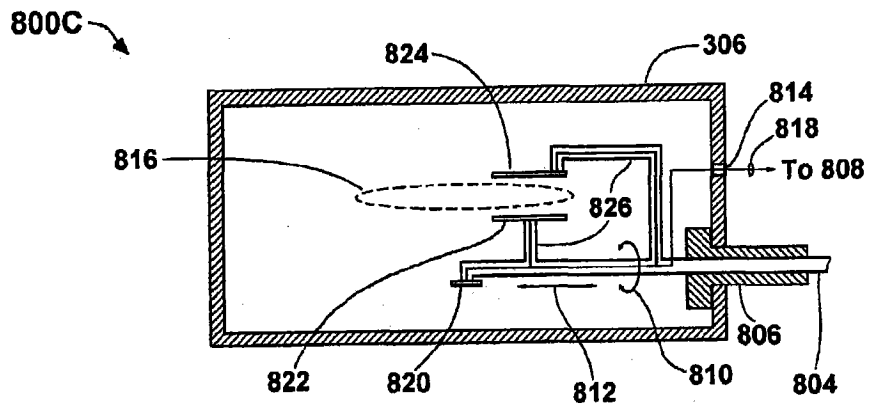


图 8C