



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108064114 B

(45) 授权公告日 2021.12.03

(21) 申请号 201711054957.4

H05H 7/04 (2006.01)

(22) 申请日 2017.11.01

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

EP 2804451 A1, 2014.11.19

申请公布号 CN 108064114 A

CN 207869479 U, 2018.09.14

(43) 申请公布日 2018.05.22

JP H11214200 A, 1999.08.06

(30) 优先权数据

陈勇. Rhodotron型加速器的动力学研究. 《中国优秀博硕士学位论文全文数据库 (硕士) 工程技术 II 辑》. 2006,

16197612.1 2016.11.07 EP

陈勇. Rhodotron型加速器的动力学研究. 《中国优秀博硕士学位论文全文数据库 (硕士) 工程技术 II 辑》. 2006,

(73) 专利权人 离子束应用股份有限公司

地址 比利时新鲁汶

Leoni Studer. Leoni technical report irradiation system. (http://d3gx8i893xzz0e.cloudfront.net/fileadmin/transportation/publications/data_sheets/electron_beam_technical_report.pdf?1450780121). 2015,

(72) 发明人 M·阿布斯 W·克里文

亚尔诺·范德瓦勒

杰里米·布里森 丹尼斯·德肖特

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262

代理人 陆建萍 杨明钊

审查员 郁亚红

(51) Int. Cl.

H05H 7/18 (2006.01)

H05H 7/02 (2006.01)

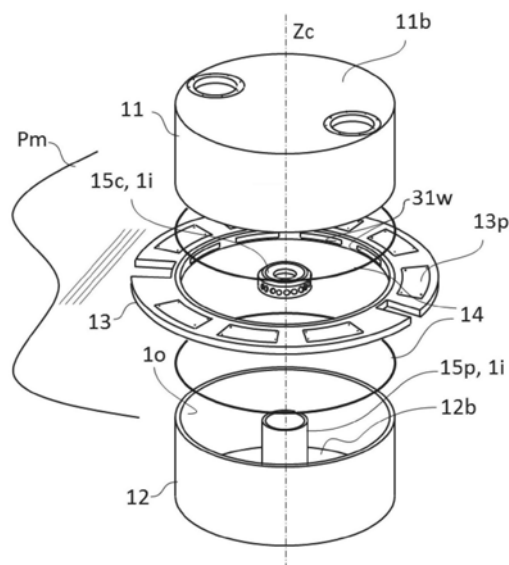
权利要求书3页 说明书14页 附图5页

(54) 发明名称

包括第一和第二半壳的紧凑型电子加速器

(57) 摘要

本发明涉及电子加速器, 包括: 由空心闭合导体组成的谐振腔; 将电子束径向地注入到谐振腔中的电子源; 耦合至谐振腔且用于生成电场E以沿着径向轨迹加速电子束的电子的RF系统; 至少一个磁体单元, 其包括用于在偏转腔室中生成磁场的偏转磁体, 该磁场用于偏转沿着第一径向轨迹的电子束并重新引导电子束沿着第二径向轨迹进入谐振腔, 其特征在于, 谐振腔由以下各项形成: 第一半壳, 具有内半径为R且中心轴线为Zc的圆柱形外壁; 第二半壳, 具有内半径为R且中心轴线为Zc的圆柱形外壁; 以及中心环元件, 其内半径为R, 在中平面Pm的水平上夹于第一与第二半壳之间, 形成外导体段的表面由第一和第二半壳的圆柱形外壁的内表面并由中心环元件的内边缘形成。



1. 一种电子加速器,包括:

(a) 谐振腔 (1),所述谐振腔由空心闭合导体组成,所述谐振腔包括:

- 外壁,所述外壁包括外圆柱形部分,所述外圆柱形部分具有中心轴线 Z_c 并且具有形成外导体段 (1o) 的内表面,以及

- 内壁,所述内壁被封闭在所述外壁内并且包括内圆柱形部分,所述内圆柱形部分具有所述中心轴线 Z_c 并且具有形成内导体段 (1i) 的外表面,

所述谐振腔关于与所述中心轴线 Z_c 垂直并且与所述外圆柱形部分和内圆柱形部分相交的中平面 P_m 对称;

(b) 电子源 (20),所述电子源被适配用于沿着所述中平面 P_m 从所述外导体段上的引入口到所述中心轴线 Z_c 将电子束 (40) 径向地注入到所述谐振腔中;

(c) RF系统 (70),所述RF系统耦合至所述谐振腔并且被适配用于在所述外导体段与所述内导体段之间生成电场 E ,所述电场以频率(f_{RF})进行振荡以便沿着所述中平面 P_m 中从所述外导体段朝着所述内导体段延伸的径向轨迹以及从所述内导体段朝着所述外导体段延伸的径向轨迹使所述电子束的电子加速;

(d) 至少一个磁体单元 (30i),所述至少一个磁体单元包括偏转磁体,所述偏转磁体由定位在所述中平面 P_m 的任一侧的第一和第二磁体 (32) 构成并且被适配用于在通过至少一个偏转窗口 (31w) 与所述谐振腔流体连通的偏转腔室 (31) 中生成磁场,所述磁场被适配用于:对沿着所述中平面 P_m 中的第一径向轨迹通过所述至少一个偏转窗口从所述谐振腔中出来的电子束进行偏转,并且重新引导所述电子束通过所述至少一个偏转窗口或者通过不同于所述至少一个偏转窗口的第二偏转窗口朝着所述中心轴线沿着所述中平面 P_m 中的第二径向轨迹进入到所述谐振腔中,所述第二径向轨迹不同于所述第一径向轨迹,

其特征在于,所述谐振腔由以下各项形成:

- 第一半壳 (11),所述第一半壳具有圆柱形外壁,所述圆柱形外壁具有内半径 R 并且具有中心轴线 Z_c ;

- 第二半壳 (12),所述第二半壳具有圆柱形外壁,所述圆柱形外壁具有内半径 R 并且具有中心轴线 Z_c ;以及

- 中心环元件 (13),所述中心环元件具有内半径 R ,在所述中平面 P_m 的水平上夹置于所述第一半壳与所述第二半壳之间,

其中,形成所述外导体段的所述表面由所述第一半壳和所述第二半壳的所述圆柱形外壁的内表面并且由所述中心环元件的内边缘形成。

2. 根据权利要求1所述的电子加速器,其中,所述中心环元件的一部分径向地延伸到所述第一半壳和所述第二半壳两者的所述外壁的外表面之外,并且其中,所述至少一个磁体单元被装配到所述中心环元件的所述部分上。

3. 根据权利要求2所述的电子加速器,其中,所述至少一个磁体单元的所述偏转腔室由采用所述中心环元件的厚度的空心腔形成,其中,所述至少一个偏转窗口面向所述中心轴线 Z_c 形成于所述中心环元件的所述内边缘中。

4. 根据权利要求3所述的电子加速器,包括 N 个磁体单元,其中, $N>1$,并且其中,所述 N 个磁体单元的所述偏转腔室由采用所述中心环元件的所述厚度的单独空心腔形成,其中,所述至少一个偏转窗口面向所述中心轴线 Z_c 形成于所述中心环元件的所述内边缘中。

5. 根据权利要求4所述的电子加速器, 其中, 所述中心环元件由环形板制成, 所述环形板包括分离所述环形板的厚度的第一主表面和第二主表面, 并且其中, 每个腔由在所述第一主表面处和在所述环形板的所述内边缘处敞开的凹陷形成, 其中, 盖板 (13p) 耦合至所述第一主表面以便密封所述凹陷并且形成仅在所述内边缘处敞开的腔从而形成一个或多个偏转窗口。

6. 根据权利要求1至5中任一项所述的电子加速器, 其中, 所述第一半壳和所述第二半壳具有完全相同的几何结构并且各自使用密封装置 (14) 耦合至所述中心环元件以便确保所述谐振腔的紧密性。

7. 根据权利要求6所述的电子加速器, 其中, 所述第一半壳和所述第二半壳中的每个半壳都包括所述圆柱形外壁、底盖 (11b, 12b) 以及伸出所述底盖的中心柱 (15p), 所述第一半壳和所述第二半壳的所述中心柱的外表面形成所述内导体段的一部分。

8. 根据权利要求7所述的电子加速器, 包括夹置于所述第一半壳和所述第二半壳的所述中心柱之间的中心腔室 (15c), 所述中心腔室包括圆柱形外围壁, 所述圆柱形外围壁具有中心轴线 Z_c , 具有与相应偏转窗口和所述引入口径向对准的开口, 其中, 形成所述内导体段的所述表面由所述中心柱的外表面并且由夹置于其之间的所述中心腔室的所述外围壁形成。

9. 根据权利要求1至5、7至8中任一项所述的电子加速器, 其中, 所述RF系统耦合至所述第一半壳, 并且其中, 所述中心环元件和中心腔室 (15c) 能够关于中心轴线 Z_c 以不同角定向安装到所述第一半壳上以便改变电子束出口 (50) 的定向, 所述电子束出口用于将被加速到目标能量的所述电子束 (40) 排出所述谐振腔。

10. 根据权利要求1至5、7至8中任一项所述的电子加速器, 其中, 所述至少一个磁体单元的所述偏转磁体的所述第一和第二磁体 (32) 是永磁体。

11. 根据权利要求10所述的电子加速器, 其中, 所述第一和第二磁体 (32) 各自由多个分立磁体元件 (32i) 形成, 所述多个分立磁体元件并排地安排为平行于所述中平面 P_m 的阵列, 包括一行或多行分立磁体元件并且相对于所述中平面 P_m 被布置在所述偏转腔室的任一侧。

12. 根据权利要求10所述的电子加速器, 包括 N 个磁体单元, 其中, $N > 1$, 并且其中, $N-n$ 个的所述第一和第二磁体是永磁体, 其中, $n = 0$ 到 $N-1$ 。

13. 根据权利要求10所述的电子加速器, 其中, 所述至少一个磁体单元在所述偏转腔室中形成包括在 $0.05T$ 与 $1.3T$ 之间的磁场。

14. 根据权利要求6所述的电子加速器, 其中, 所述RF系统耦合至所述第一半壳, 并且其中, 所述中心环元件和中心腔室 (15c) 能够关于中心轴线 Z_c 以不同角定向安装到所述第一半壳上以便改变电子束出口 (50) 的定向, 所述电子束出口用于将被加速到目标能量的所述电子束 (40) 排出所述谐振腔。

15. 根据权利要求6所述的电子加速器, 其中, 所述至少一个磁体单元的所述偏转磁体的所述第一和第二磁体 (32) 是永磁体。

16. 根据权利要求15所述的电子加速器, 其中, 所述第一和第二磁体 (32) 各自由多个分立磁体元件 (32i) 形成, 所述多个分立磁体元件并排地安排为平行于所述中平面 P_m 的阵列, 包括一行或多行分立磁体元件并且相对于所述中平面 P_m 被布置在所述偏转腔室的任一侧。

17. 根据权利要求15所述的电子加速器, 包括 N 个磁体单元, 其中, $N > 1$, 并且其中, $N-n$ 个

的所述第一和第二磁体是永磁体,其中, $n=0$ 到 $N-1$ 。

18.根据权利要求15所述的电子加速器,其中,所述至少一个磁体单元在所述偏转腔室中形成包括在0.05T与1.3T之间的磁场。

包括第一和第二半壳的紧凑型电子加速器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电子加速器,所述电子加速器具有以中心轴线 Z_c 为中心的谐振腔并且产生用于沿着多条径向路径使电子加速的振荡电场。**Rhodotron®**是这种电子加速器的示例。根据本发明的电子加速器可以更紧凑并且相比最先进的加速器需要更低的电源。这允许第一次提供一种移动电子加速器。组成所述电子加速器的元件被设计用于提供更高效率且通用的制造。

[0002] 现有技术说明

[0003] 本领域中,具有谐振腔的电子加速器是众所周知的。例如,EP0359774描述了一种电子加速器,所述电子加速器包括:

[0004] (a) 谐振腔,所述谐振腔由空心闭合导体组成,所述谐振腔包括:

[0005] • 外壁,所述外壁包括外圆柱形部分,所述外圆柱形部分具有中心轴线 Z_c 并且具有形成外导体段的内表面,以及

[0006] • 内壁,所述内壁被封闭在所述外壁内并且包括内圆柱形部分,所述内圆柱形部分具有所述中心轴线 Z_c 并且具有形成内导体段的外表面,

[0007] 所述谐振腔关于与所述中心轴线 Z_c 垂直并且与所述外圆柱形部分和内圆柱形部分相交的中平面 P_m 对称,

[0008] (b) 电子源,所述电子源被适配用于沿着所述中平面 P_m 从所述外导体上的引入口到所述中心轴线 Z_c 将电子束径向地注入到所述谐振腔中,

[0009] (c) RF系统,所述RF系统耦合至所述谐振腔并且被适配用于在所述外导体与所述内导体之间生成电场 E ,所述电场以频率(f_{RF})进行振荡以便沿着所述中平面 P_m 中从所述外导体朝着所述内导体延伸并且从所述内导体朝着所述外导体延伸的径向轨迹使所述电子束的电子加速;

[0010] (d) 磁体系统,所述磁体系统包括多个电磁体,所述多个电磁体被适配用于将所述电子束的所述轨迹从一个径向轨迹偏转到不同的径向轨迹,每个径向轨迹都处于所述中平面 P_m 中并且从所述电子源穿过所述中心轴线 Z_c 到达电子束出口。

[0011] 在下文中,术语“rhodotron”用作“具有谐振腔的电子加速器”的同义词。

[0012] 如图1(b)中示出的,电子束的电子沿着谐振腔的直径(两个半径, $2R$) 被电场 E 加速,所述电场由RF系统在外导体段与内导体段之间并且在内导体段与外导体段之间生成。振荡电场 E 首先在外导体段与内导体段之间的距离内使电子加速。当电子横跨谐振腔的包括在内圆柱形部分内的中心周围的区域时,电场的极性改变。谐振腔的中心周围的此区域提供从电场到以恒定速度继续其轨迹的电子的屏蔽。然后,在电子的轨迹的包括于内导体段与外导体段之间的部分中,电子被再次加速。当电子被电磁体偏转时,电场的极性再次改变。然后,按需要频繁重复所述过程以使电子束达到其被排出rhodotron的目标能量。因此,电子在中平面 P_m 中的轨迹具有花的形状(见图1(b))。

[0013] rhodotron可以组合到如束线和束扫描系统等外部设备上。rhodotron可用于杀菌、聚合物改性、浆粕加工、食物低温巴氏杀菌、检测 and 安全性目的等。

[0014] 如今,众所周知的rhodotron体积很大、生产成本很高并且使用它们需要很高的电能源。它们被设计成坐落于固定位置且具有预定构型。在不同位置处应用电子束需要绘制附加束线,具有相关联的所有附加成本和技术问题。

[0015] 行业中需要消耗较少能量并且优选地作为移动单元的更小、更紧凑、通用且更低成本的rhodotron。然而,较小直径的谐振腔需要较高电力以便在较短距离内使电子加速,这不利于这种紧凑型rhodotron的能耗。如EP2804451中描述的,独立于rhodotron的大小,可以通过对RF源进行供能以及通过仅在rhodotron的工作周期的一部分期间使电子加速来减少能耗。然而,即使如此,在具有较小谐振腔的情况下,能耗较高。

[0016] 具有较小直径的谐振腔还具有较小外圆周长,所述较小外圆周长减少了可用于将电子源和磁体系统的所有电磁体连接至谐振腔的空间。相比最先进的rhodotron,对小的紧凑型rhodotron的生产更复杂并且成本更高。

[0017] 本发明提出了一种需要低能量的紧凑型rhodotron,其是可移动的并且其具有成本效益。在以下章节中更详细地描述了这些优点。

发明内容

[0018] 本发明在所附独立权利要求中被限定。优选实施例在从属权利要求中被限定。具体地,本发明涉及一种电子加速器,所述电子加速器包括谐振腔、电子源、RF系统和至少一个磁体单元。

[0019] 所述谐振腔由空心闭合导体组成,所述谐振腔包括:

[0020] • 外壁,所述外壁包括外圆柱形部分,所述外圆柱形部分具有中心轴线 Z_c 并且具有形成外导体段(1o)的内表面,以及

[0021] • 内壁,所述内壁被封闭在所述外壁内并且包括内圆柱形部分,所述内圆柱形部分具有中心轴线 Z_c 并且具有形成内导体段(1i)的外表面;

[0022] 所述谐振腔关于与所述中心轴线 Z_c 垂直并且与所述外圆柱形部分和内圆柱形部分相交的中平面 P_m 对称,并且由以下各项形成:

[0023] • 第一半壳,所述第一半壳具有圆柱形外壁,所述圆柱形外壁具有内半径 R 并且具有中心轴线 Z_c ;

[0024] • 第二半壳,所述第二半壳具有圆柱形外壁,所述圆柱形外壁具有内半径 R 并且具有中心轴线 Z_c ;以及

[0025] • 中心环元件,所述中心环元件具有内半径 R ,在所述中平面 P_m 的水平上夹置于所述第一与第二半壳之间。

[0026] 形成所述外导体段的所述表面由所述第一和第二半壳的所述圆柱形外壁的内表面并且由所述中心环元件的内边缘形成。

[0027] 所述电子源被适配用于沿着所述中平面 P_m 从所述外导体段上的引入口到所述中心轴线 Z_c 将电子束径向地注入到所述谐振腔中。

[0028] 所述RF系统耦合至所述谐振腔并且被适配用于在所述外导体段与所述内导体段之间生成电场 E ,所述电场以频率(f_{RF})进行振荡以便沿着所述中平面 P_m 中从所述外导体段朝着所述内导体段延伸的径向轨迹以及从所述内导体段朝着所述外导体段延伸的径向轨迹使所述电子束的电子加速。

[0029] 所述至少一个磁体单元包括偏转磁体,所述偏转磁体由定位在所述中平面 P_m 的任一侧的第一和第二磁体构成并且被适配用于在通过至少一个偏转窗口与所述谐振腔流体连通的偏转腔室中生成磁场,所述磁场被适配用于对沿着所述中平面 P_m 中的第一径向轨迹通过所述至少一个偏转窗口从所述谐振腔中出来的电子束进行偏转并且用于重新引导所述电子束通过所述至少一个偏转窗口或者通过第二偏转窗口朝着所述中心轴线沿着所述中平面 P_m 中的第二径向轨迹进入到所述谐振腔中,所述第二径向轨迹不同于所述第一径向轨迹。

[0030] 所述中心环元件的一部分可以径向地延伸到第一和第二半壳两者的所述外壁的外表面之外,并且所述至少一个磁体单元可以被装配到所述中心环元件的所述部分上。

[0031] 所述至少一个磁体单元的所述偏转腔室可由采用所述中心环元件的厚度的空心腔形成,其中,所述至少一个偏转窗口面向所述中心轴线 Z_c 形成于所述中心环元件的所述内边缘处。

[0032] 优选地,根据本发明的电子加速器包括 N 个磁体单元,其中, $N>1$,并且所述 N 个磁体单元的所述偏转腔室由采用所述中心环元件的所述厚度的单独空心腔形成,其中,所述 N 个偏转窗口面向所述中心轴线 Z_c 形成于所述中心环元件的所述内边缘处。

[0033] 所述中心环元件可由环形板制成,所述环形板包括分离环形板的厚度的第一和第二主表面,并且每个腔可由在所述第一主表面处和在所述环形板的所述内边缘处敞开的凹陷形成,其中,盖板耦合至所述第一主表面以便密封所述凹陷并且形成仅在所述内边缘处敞开的腔从而形成一个或多个偏转窗口。

[0034] 优选地,所述第一和第二半壳具有完全相同的几何结构并且各自使用密封装置耦合至所述中心环元件以确保所述谐振腔的紧密性。

[0035] 所述第一和第二半壳中的每个半壳都可以包括所述圆柱形外壁、底盖以及伸出所述底盖的中心柱,所述第一和第二半壳的所述中心柱的外表面形成所述内导体段的一部分。

[0036] 根据本发明的电子加速器可以包括夹置于所述第一和第二半壳的所述中心柱之间的中心腔室。所述中心腔室包括圆柱形外围壁,所述圆柱形外围壁具有中心轴线 Z_c ,具有与对应偏转窗口和所述入口径向对准的开口。形成所述内导体段的所述表面可由所述中心柱的外表面并且由夹置于其之间的所述中心腔室的所述外围壁形成。

[0037] 优选地,所述RF系统耦合至所述第一半壳,并且所述中心环和中心腔室可以关于中心轴线 Z_c 以不同角定向安装到所述第一半壳上以便改变电子束出口的定向,所述电子束出口用于将被加速到期望能量的所述电子束排出所述谐振腔。

[0038] 在优选实施例中,至少一个磁体单元的偏转磁体的第一和第二磁体是永磁体。

[0039] 优选地,第一和第二永磁体各自由多个分立磁体元件形成,更具体地,所述多个分立磁体元件呈棱柱(比如,矩形长方体)或立方体或圆柱体形状,并排地安排为平行于所述中平面 P_m 的阵列,包括一行或多行分立磁体元件并且相对于所述中平面 P_m 被布置在所述偏转腔室的任一侧。

[0040] 优选地,根据本发明的电子加速器包括 N 个磁体单元(其中, $N>1$),并且其中, $N-n$ 的所述第一和第二偏转磁体是永磁体(其中, $n=0$ 到 $N-1$)。

[0041] 优选地,所述至少一个磁体单元在所述偏转腔室中形成包括在0.05T与1.3T之间、

优选地0.1T到0.7T的磁场。

附图说明

[0042] 将通过示例的方式并参照附图对本发明的这些和进一步方面进行更详细解释。

[0043] 图1(a) - (b) 示意性地示出了根据本发明的电子加速器的示例:图1(a) 平面(X,Z)上的截面;以及图1(b) 垂直于(X,Z)的平面(X,Y)上的视图。

[0044] 图2(a) - (c) 示意性地示出了根据本发明的电子加速器:图2(a) 本发明的优选实施例的各种元件的分解视图;图2(b) 准备好安装在支架上以供使用;以及图2(c) 中心环和偏转腔室构造的实施例的放大视图。

[0045] 图3(a) - (b) 示出了在根据本发明的优选rhodotron中使用的磁体单元的示例:图3(a) 沿着平面(Z,r)的截面视图,其中,r处于中平面P_m中并且与中心轴线Z_c相交;以及图3(b) 透视图,示出了用于将分立磁体元件添加到磁体单元中或将其从磁体单元移除的工具。

[0046] 图4(a1) - (a3) 和(b1) - (b3) 示出了对于图4(a1) - (a3) 10MeV的电子束和图4(b1) - (b3) 6MeV的电子束,可以如何修改从rhodotron中提取的电子束的方向。

[0047] 附图未按比例绘制。

具体实施方式

[0048] Rhodotron

[0049] 图1(a) - (b) 和图2(a) - (c) 示出了根据本发明的并且包括以下各项的rhodotron的示例:

- [0050] • 谐振腔1,所述谐振腔由空心闭合导体组成;
- [0051] • 电子源20;
- [0052] • 真空系统(未示出);
- [0053] • RF系统70;
- [0054] • 磁体系统,所述磁体系统包括至少一个磁体单元30i。

[0055] 谐振腔

[0056] 谐振腔1包括:

- [0057] • 中心轴线Z_c;
- [0058] • 外壁,所述外壁包括外圆柱形部分,所述外圆柱形部分与中心轴线Z_c共轴并且具有形成外导体段1o的内表面;
- [0059] • 内壁,所述内壁被封闭在外壁内并且包括内圆柱形部分,所述内圆柱形部分与中心轴线Z_c共轴并且具有形成内导体段1i的外表面;
- [0060] • 两个底盖11b,12b,所述底盖连接外壁和内壁,由此闭合谐振腔;
- [0061] • 中平面P_m,所述中平面垂直于中心轴线Z_c并且与内圆柱形部分和外圆柱形部分相交。中平面与中心轴线的交点限定了谐振腔的中心。

[0062] 谐振腔1关于中平面P_m被分成两个对称部分。谐振腔关于中平面的这种对称性关系到谐振腔的几何结构并且忽略了例如用于连接RF系统70或真空系统的任何开口的存在。因此,谐振腔的内表面形成呈环形体形状的空心闭合导体。

[0063] 中平面P_m可以是垂直的、水平的或者关于rhodotron所停留的地面具有任何适当

定向。优选地,其是垂直的。

[0064] 谐振腔1可以包括用于连接RF系统70和真空系统(未示出)的开口。优选地,这些开口形成于这两个底盖11b,12b中的至少一个中。

[0065] 外壁还包括与中平面P_m相交的开口。例如,外壁包括用于将电子束40引入谐振腔1中的入口。其还包括用于将被加速到期望能量的电子束40排出谐振腔的电子束出口50。其还包括使谐振腔与相应偏转腔室31(见下文)流体连通的偏转窗口31w。一般而言, rhodotron包括多个磁体单元和多个偏转窗口。

[0066] rhodotron通常使电子束的电子加速到可以包括在1与50MeV之间(优选地,在3与20MeV之间;更优选地,在5与10MeV之间)的能量。

[0067] 内壁包括与相应偏转窗口31w径向对准的开口,所述开口允许电子束沿着直线径向轨迹穿过内圆柱形部分。

[0068] 谐振腔1的由空心闭合导体组成的表面由导电材料制成。例如,导电材料可以是金、银、铂、铝、(优选地)铜之一。外壁和内壁以及底盖可由涂覆有导电材料层的钢制成。

[0069] 谐振腔1可以具有包括在0.3m与4m之间(优选地,在0.4m与1.2m之间;更优选地,在0.5m与0.7m之间)的直径2R。

[0070] 谐振腔1的平行于中心轴线Z_c测得的高度可以包括在0.3m与4m之间(优选地,在0.4m与1.2m之间;更优选地,在0.5m与0.7m之间)。

[0071] 包括谐振腔1、电子源20、真空系统、RF系统70以及一个或多个磁体单元的 rhodotron的平行于中平面P_m测得的直径可以包括在1m与5m之间(优选地,在1.2m与2.8m之间;更优选地,在1.4m与1.8m之间)。rhodotron的平行于中心轴线Z_c测得的高度可以包括在0.5m与5m之间(优选地,在0.6m与1.5m之间;更优选地,在0.7m与1.4m之间)。

[0072] 电子源、真空系统和RF系统

[0073] 电子源20被适配用于生成电子束40并且用于通过入口沿着中平面P_m朝着中心轴线Z_c将所述电子束引入到谐振腔中。例如,电子源可以是电子枪。如本领域的技术人员熟知的,电子枪是产生具有精确动能的窄准直电子束的电气部件。

[0074] 真空系统包括用于将空气泵出谐振腔1并且在其中产生真空的真空泵。

[0075] RF系统70经由耦合器耦合至谐振腔1并且通常包括被设计用于以谐振频率 f_{RF} 进行振荡以便生成RF信号的振荡器,随后是放大器或放大器链,用于在所述链的端部实现期望输出功率。因此,RF系统在谐振腔中生成谐振径向电场E。谐振径向电场E进行振荡以便使电子束40的电子沿着位于中平面P_m中的轨迹从外导体段朝着内导体段并且随后从内导体段朝着偏转窗口31w加速。谐振径向电场E通常属于“TE001”型,其限定了电场是横向的(“TE”)、具有旋转对称(第一个“0”)、不沿着腔的一个半径抵消(第二个“0”)并且在平行于中心轴线Z的方向上是所述场的半周期。

[0076] 磁体系统

[0077] 磁体系统包括至少一个磁体单元301,所述至少一个磁体单元包括偏转磁体,所述偏转磁体由第一和第二永磁体32构成,所述第一和第二永磁体被定位在中平面P_m的任一侧并且被适配用于在偏转腔室31中生成磁场。偏转腔室通过至少一个偏转窗口31w与谐振腔1流体连通。

[0078] 优选地,磁体系统包括多个磁体单元30i,其中, $i=1,2,\dots,N$ 。N等于磁体单元的总

数并且包括在1与15之间(优选地,在4与12之间;更优选地,在5与10之间)。磁体单元的数量N对应于在电子束40带着给定能量离开rhodotron之前,电子束的电子的(N+1)个加速度。例如,图4(a1) - (a3)中示出了包括产生10MeV电子束的九(9)个磁体单元30i的rhodotron,而rhodotron在图4(b1) - (b3)中包括产生6MeV电子束的五(5)个磁体单元。

[0079] 电子束由电子源20通过引入口沿着中平面Pm注入谐振腔中。电子束遵循中平面Pm中的径向轨迹,所述轨迹:

- [0080] • 通过第一开口横跨内壁;
- [0081] • 横跨谐振腔的中心(即,中心轴线Zc);
- [0082] • 通过第二开口横跨内壁;
- [0083] • 通过第一偏转窗口31w横跨外壁;
- [0084] • 横跨第一偏转腔室31。

[0085] 然后,电子束被磁体单元30i的偏转磁体偏转并且通过第一或第二偏转窗口沿着不同的径向路径被重新引入到谐振腔中。电子束可以遵循这种路径N次,直到其达到目标能量。然后,电子束通过电子束出口50被提取出谐振腔。在最先进的rhodotron中,在磁体单元中使用电磁体,这是因为电磁体允许容易地控制在磁体单元中产生的磁场。在本发明的优选实施例中,至少一个磁体单元可以包括第一和第二永磁体而不是第一和第二电磁体。以下在标题为“永磁体”的章节中讨论了与使用永磁体相关联的优点。

[0086] 在本文档中,径向轨迹被定义为与中心轴线Zc垂直相交的直线轨迹。

[0087] 电子加速器的模块化构造

[0088] 如图4(a1) - (a3)和(b1) - (b3)中展示的,可以以许多不同构型供应rhodotron。例如,不同用户可以需要产生具有不同能量的电子束的rhodotron。离开rhodotron的电子束的能量可通过电子束到达出口50之前遵循的径向加速轨迹的数量来控制,所述数量取决于rhodotron中的活动磁体单元的数量。图4(a1) - (a3)的rhodotron(=左列)包括九(9)个磁体单元并且被配置用于产生10MeV的电子束。图4(b1) - (b3)的rhodotron(=右列)包括五(5)个磁体单元并且被配置用于产生6MeV的电子束。不同用户可能需要沿着给定定向的轨迹离开rhodotron的加速电子束。图4(a1)和图4(b1)的rhodotron(=顶行)产生水平地(即,以0°的角度)离开rhodotron的电子束。图4(a2)和图4(b2)的rhodotron(=中间行)以及图4(a3)和图4(b3)的rhodotron(=底行)产生分别向下(即,以-90°的角度)和向上(即,以90°的角度)垂直地离开rhodotron的电子束。

[0089] 最先进的rhodotron通常被“水平地”定位,即,其中平面Pm是水平的并且与rhodotron停留的表面平行。通过绕(垂直)中心轴线Zc旋转rhodotron,可以将电子束出口50定向在沿着中平面Pm的任何方向上。然而,不可能将电子束出口50定向在中平面之外(例如,以相对于中平面45°或垂直地以90°或270°)。优选地,本发明的rhodotron被“垂直地”定位,即,中心轴线Zc是水平的并且与rhodotron停留的表面平行并且因此中平面Pm是垂直的。以垂直定向安装的rhodotron单元具有许多优点。首先,其导致rhodotron的占地面积减小。这减少了安装rhodotron单元所需的空間,其程度为移动rhodotron单元可以安装在货车的货物中。其次, rhodotron的垂直定向允许将电子束出口50定向在空间的任何方向上。rhodotron可以绕(水平)中心轴线Zc旋转(比如,图4(a1) - (a3)和(b1) - (b3)上展示的)以便到达沿着中平面Pm的任何方向,并且其可以绕与中心轴线Zc相交的中平面Pm的纵轴旋转以

便到达空间中的任何方向。为了降低生产成本,如在续篇中描述的,已经开发了新颖的模块或元件集合,从而允许使用相同模块或元件集合来生产具有任何电子束出口定向的 rhodotron,由此导致适合于电子束出口50的任何方向的“时钟系统”。

[0090] 迄今为止,具有不同构型的两种 rhodotron 需要单独地重新设计 rhodotron 的许多部件,所述部件必须单独地定制和生产。如上文提及的,本发明提出了一种完全创新的概念,包括对任何构型的 rhodotron 共用的元件或模块集合。可以通过修改对所述元件的组装而不是元件本身来获得不同构型的 rhodotron。以此方式,生产 rhodotron 所需的工具和模块的数量可以大幅减小,由此降低生产成本。

[0091] 在图2(a)的分解视图中展示了根据本发明的 rhodotron 的模块化构造。rhodotron 的谐振腔由以下各项形成:

[0092] • 第一半壳11,所述第一半壳具有圆柱形外壁,所述圆柱形外壁具有内半径R并且具有中心轴线Zc;

[0093] • 第二半壳12,所述第二半壳具有圆柱形外壁,所述圆柱形外壁具有内半径R并且具有中心轴线Zc;以及

[0094] • 中心环元件13,所述中心环元件具有内半径R,在中平面Pm的水平上夹置于第一与第二半壳之间。

[0095] 参照图2(a),第一和第二半壳中的每个半壳包括圆柱形外壁、底盖11b,12b以及伸出底盖的中心柱15p。中心腔室15c可以夹置于第一和第二半壳的中心柱之间。

[0096] 如上文讨论的,谐振腔具有类环面旋转几何结构。谐振腔的整个内表面由导体材料制成。具体地,形成外导体段1o的表面由第一和第二半壳的圆柱形外壁的内表面并且由中心环元件的内边缘形成,所述内边缘优选地与第一和第二半壳两者的内表面齐平。形成内导体段1i的表面由中心柱的外表面并且由夹置于其之间的中心腔室的外围壁形成。

[0097] 如在图2(a)和图3(a)中可见的,中心环元件13具有通过其厚度彼此分离的第一和第二主表面。中心环元件的一部分径向地延伸到第一和第二半壳两者的外壁的外表面之外,从而形成径向地向外延伸的凸缘。磁体单元30i可以安装或装配到所述凸缘上。优选地,磁体单元与凸缘之间的装配对于将磁体单元与中平面Pm以及电子束的轨迹精确对准来说起到一定作用。具体地,优选地,可以在径向方向上倾斜磁体单元并且可以沿着与中心轴线Zc平行的方向平移磁体单元以便将磁体单元定位成关于中平面完美对称,并且可以平行于中平面Pm平移磁体单元并且可以绕平行于中心轴线Zc的轴旋转磁体单元以便与电子束轨迹完美对准。

[0098] 在最优选实施例中,至少一个磁体单元的偏转腔室31可由采用中心环元件的厚度的空心腔形成,其中,偏转窗口31w面向中心环元件的中心和中心轴线Zc形成于中心环元件的内边缘处。优选地,多个偏转腔室(更优选地, rhodotron 的所有偏转腔室)由采用中心环元件的厚度的单独空心腔形成,其中,相应偏转窗口面向中心轴线Zc形成于中心环元件的内边缘中。出于以下原因,相比于最先进的设计,这种构造大大降低了 rhodotron 的生产成本。

[0099] 因为电磁体包括其之间形成了磁场的线圈,所以电磁体无法被直接定位在谐振腔的外壁附近。提供有电磁体最先进的 rhodotron 中的偏转腔室因此被制造为单独部件,所述部件借助于两条管线耦合至谐振腔,一根管线与离开谐振腔的电子束的径向轨迹对准,另

一根与返回到谐振腔中的电子束的径向轨迹对准。这两根管线必须在一端耦合至磁体单元并且在另一端耦合至谐振腔的外壁。可以通过焊接、螺丝接合、铆接等中的一项或多项执行对管线的耦合。密封O形环可以用于确保耦合的紧密性。这种耦合操作仅可由技术人员手动执行。这种操作很耗时、成本相当高并且并不排除不同部件(管子、腔室等)的失准风险。

[0100] 通过使用永磁体,磁体单元可以直接定位在谐振腔的外壁附近。通过将偏转腔室提供为采用中心环元件的厚度的空心腔,它们全都可以准确地从单个环形板中自动地加工出来。然后,磁体单元可以耦合至每个由此形成的偏转腔室之上的中心环。相比如以上讨论的借助于两条焊接管线来将每个单独磁体单元耦合至外谐振腔,这些操作准确得多、可复制性高得多、快得多并且成本效益高得多。

[0101] 偏转腔室31可以以具有成本效益的方式形成如下。如上文讨论的,中心环元件可由环形板制成,所述环形板包括分离环形板的厚度的第一和第二主表面。如图2(a)和图2(c)中示出的,形成偏转腔室的每个腔可以通过形成在第一主表面处且在环形板的内边缘处敞开的凹陷来产生。所述凹陷可以通过机加工、水射流切割、激光烧蚀或本领域中熟知的任何其他技术形成。然后,盖板13p可以耦合至第一主表面以便密封凹陷并且形成仅在内边缘处敞开的腔从而形成一个或多个偏转窗口。可以使用密封圈来密封中心环元件与盖板之间的界面。盖板可以通过焊接或借助于螺钉或铆钉来固定。

[0102] 图2(a)示出了提供有八(8)个偏转腔室的中心环元件13,所述偏转腔室在第一主表面上由盖板13p闭合并且在中心环元件的具有每偏转腔室单个细长偏转窗口13w的内边缘处敞开。单个细长窗口必须在圆周方向上延伸至少以便涵盖离开并且返回进入到谐振腔中的电子束的轨迹。

[0103] 在图2(c)中展示的替代性实施例中,每个偏转腔室可以在具有两个较小偏转窗口(而不是如在前述实施例中的单个大偏转窗口)的内边缘处敞开。第一偏转窗口与离开谐振腔的电子束的径向离开轨迹对准,并且第二偏转窗口与返回进入到谐振腔中的电子束的径向进入轨迹对准,所述径向进入轨迹处于偏转腔中的电子束遵循的大于 180° 角的圆形轨迹的下游。在这些设计的情况下,可以以单项或几项自动操作形成多个偏转腔,其中,偏转窗口13w与电子束的期望径向轨迹完美且可复制地对准。

[0104] 为了进一步使对rhodotron的生产合理化,优选的是:第一和第二半壳具有完全相同的几何结构并且各自使用密封装置14耦合至中心环元件以便确保谐振腔的紧密性。因此,可以连续地生产半壳,而不管其是否将形成谐振腔的第一或第二半壳。除了已经提及的圆柱形外壁之外,第一和第二半壳中的每个半壳可以包括底盖11b,12b以及伸出底盖的中心柱15p。内导体段1i可由当第一和第二半壳耦合于中心环元件的任一侧时接触的第一和第二柱形成。可替代地,如图2(a)中示出的,中心腔室15c可以夹置于第一和第二半壳的中心柱之间。中心腔室包括具有中心轴线Zc的圆柱形外围壁。在具有或不具有中心腔室的情况下,开口径向地分布于中心腔室的或者第一和第二柱的外围壁上,与相应偏转窗口、入口和电子束出口50对准。因此,形成内导体段的表面由中心柱的外表面形成,并且如果使用了中心腔室,则由夹置于其之间的中心腔室的外围壁形成。

[0105] 在具有以上描述的模块的情况下,谐振腔可以通过将第二半壳12组装到中心环元件13上通过本领域中熟知的方式(比如,螺钉、铆钉、焊接、钎焊)形成。由此形成的组件可以组装到第一半壳上(其中,中心腔室夹置于第一与第二柱之间),从而完成提供有引入口、电

子束出口50并且提供有与偏转腔室流体连通且与中心腔室的圆柱形壁中的相应开口径向对准的多个偏转窗口31w的谐振腔。在中心环元件13的一部分形成径向地向外延伸的凸缘并且封闭偏转腔室的情况下,磁体单元可以在偏转腔室的相应位置处耦合至所述凸缘。因为无需对永磁体进行供电,所以由此产生的组件中不需要任何电气布线。这大大降低了生产成本和使用成本。

[0106] 第一半壳包括用于耦合至RF系统70的至少一个开口。如果如图2(b)中示出的,所述至少一个开口偏离中心轴线Zc,则第一半壳的角位置通过这种开口相对于RF系统的位置来设置。可以进一步通过将由此获得的组件夹置在如图2(b)中示出的两个板之间来使其稳定,从而将磁体单元牢固地固持在适当位置。然后,整体可以定位到支架中。RF系统70可以耦合至第一半壳的底盖中的开口。因为不像电磁体,无需对永磁体进行供电,所以仅RF系统需要电力来起作用。因此,所有电气布线集中于可以单独地生产为标准单元的RF系统中。这对于生产有利,而且使得生产需要较少电源连接的移动rhodotron单元更容易。

[0107] 以上讨论了图4(a1) - (a3)和(b1) - (b3)中展示的各种rhodotron构型,示出了rhodotron的构型可以如何根据就电子束40的能量和定向而言的应用而变化。在以上讨论的模块化构造的情况下,可以使用相同模块或元件集合来获得所有构型。图4(a1) - (a3)和(b1) - (b3)的rhodotron中的白色中心圆圈表示第一半壳的底盖11b。底盖11b提供有用于耦合定向固定且无法改变的RF系统的两个开口。图4(a1) - (a3)和(b1) - (b3)中使用左手侧的黑色圆圈和右手侧的白色圆圈来展示所述开口,从而表明在所有构型中,第一半壳的角定向维持固定。

[0108] 对于rhodotron产生的电子束的给定能量(例如,在图4(a1)至图4(a3)的rhodotron中的10MeV以及在图4(a1)至图4(a3)的rhodotron中的6MeV),出口50的角定向可以通过改变中心环元件13的以及(可选地)第二半壳相对于第一半壳的角定向来改变,所述位置必须保持固定。

[0109] 对于给定电子束定向(例如,图4(a1)和图4(b1)中的0°、图4(a2)和图4(b2)中的-90°以及图4(a3)和图4(b3)中的90°),电子束的能量可以通过改变激活磁体单元的数量来改变。这可以通过简单地移除或添加多个磁体单元或可替代地通过从多个磁体单元中移除分立磁体元件或将分立磁体元件加载到多个磁体单元中来实现。图4(b1) - (b3)中涂以阴影的磁体单元30i表示活动磁体单元,而具有虚线轮廓的白框表示不活动磁体单元。可以通过在每个偏转腔室中提供径向地形成分支的通道来容易地旋转出口50。在不存在用于弯曲电子束的径向轨迹的磁场的情况下,电子束可以使其径向轨迹继续穿过这种通道并离开rhodotron。

[0110] 图4(a1) - (a3)和(b1) - (b3)中展示的所有不同构型可以使用图2(a)中展示的单个模块集合来实现,而在最先进的rhodotron的情况下,每个新构型都将需要使用特定于每个新构型的组装来对部件进行新的重新设计。使用单个部件集合来进行的这种对rhodotron生产的合理化允许大幅度降低生产成本并且同时允许由此生产的rhodotron的较高可复制性和可靠性。

[0111] 永磁体

[0112] 虽然最先进的rhodotron在磁体单元中使用用于使电子束的轨迹偏转回到谐振腔中的电磁体,但是根据本发明的rhodotron与这种最先进的rhodotron的不同之处在于:至

少一个磁体单元30i的偏转磁体由永磁体32构成。

[0113] 一般而言, rhodotron包括多于一个磁体单元30i。在包括总共N(其中, $N > 1$) 个磁体单元的优选实施例中, n个磁体单元包括偏转磁体, 所述偏转磁体由第一和第二磁体32构成(其是永磁体), 其中, $1 \leq n \leq N$ 。例如, 图4(a1) - (a3) 中展示的rhodotron包括 $N = 9$ 个磁体单元, 而图4(b1) - (b3) 中展示的rhodotron包括 $N = 5$ 个磁体单元。在图4(a1) - (a3) 和图4(b1) - (b3) 中, 所有磁体单元都包括永磁体($n = N$)。根据本发明的rhodotron要求N个磁体单元中的至少一个包括永磁体, 从而使得rhodotron的一个或多个($N - n$) 磁体单元可以是电磁体。在实践中, rhodotron可以包括例如一个电磁体(即, $n = N - 1$) 或两个电磁体(即, $n = N - 2$) 或三个电磁体(即, $n = N - 3$)。

[0114] 优选地, rhodotron包括至少一个电磁体。例如, 定位在电子源20对面的第一磁体单元301可以不同于其他($N - 1$) 个磁体单元, 这是因为相比其他磁体单元, 电子束以更低的速度到达所述第一磁体单元。为了使电子束与振荡电场同相地返回到谐振腔中, 第一磁体单元中的偏转路径必须稍微不同于剩余($N - 1$) 个磁体单元。因此, 第一磁体单元301可以是电磁体, 从而允许容易地对相应偏转腔室31中生成的磁场进行微调。

[0115] 虽然从所有磁体单元都配备有电磁体的最先进rhodotron改变为根据本发明的其中至少一个磁体单元(优选地, 多个磁体单元) 配备有永磁体的rhodotron可能在事后看来是个容易的步骤, 但是情况并非如此, 并且由于以下原因, 本领域的技术人员将对采取这种步骤具有很强的偏见。rhodotron是一个非常精密的设备, 需要精确微调以便确保电子束遵循图1(b) 中展示的花形路径。RF系统以及谐振腔的尺寸必须确保产生以期望频率 f_{RF} 进行振荡并且具有波长 λ_{RF} 的电场。具体地, rhodotron构型必须确保电子沿着第一径向轨迹从中心轴线Zc到磁体单元30i行进、穿过偏转腔室31并且沿着第二径向轨迹从磁体单元30i返回到中心轴线Zc(即, 图1(b) 中展示的花形路径的一个花瓣) 的回路距离L是电场的波长 λ_{RF} 的倍数, $L = M\lambda_{RF}$, 其中, M是整数, 并且优选地, M等于1, 并且由此, $L = \lambda_{RF}$ 。

[0116] 电子束在偏转腔室中遵循的圆形路径的半径取决于在偏转磁体的第一与第二永磁体32之间产生的磁场的大小。为了确保电子束与振荡电场同相地遵循预先建立的花形路径, 对rhodotron的每一个磁体单元中的所述磁场进行微调是必要的。可以使用电磁体通过简单地控制发送到线圈中的电流来容易地实现这一点。电子束的在一个磁体单元处偏转路径的任何偏差在其他磁体单元中被重现和放大, 其程度为电子束的最终径向轨迹可能偏离电子束出口50, 由此使rhodotron不可操作且具有危险。

[0117] 相比而言, 永磁体生成所使用的材料固有的并且仅可通过改变永磁体的体积来改变的给定磁场。因此, 本领域的技术人员对将永磁体用于rhodotron的磁体单元中的任何磁体单元具有很强的偏见, 这是由于对偏转腔室中的磁场进行微调似乎不可能或者至少比使用电磁体困难得多。由于永磁体缺乏控制和可复制性, 所以从永磁体上切下一点或几块并不是可行的选择。仅仅为此, 对于本领域的技术人员来说, 以配备有由第一和第二永磁体32构成的偏转磁体的磁体单元来代替配备有由第一和第二电磁体构成的偏转磁体的rhodotron磁体单元不是显而易见的, 这是因为对磁场进行微调以便确保rhodotron的适当运行是不可实现的。

[0118] 在本发明中, 至少一个磁体单元30i的偏转磁体由第一和第二永磁体32构成。在本发明中, 通过以下优选实施例克服技术人员对缺乏对偏转腔室中的磁场进行微调的偏见。

如图3(a) - (b)中展示的,可以通过以下方式对偏转腔室中由第一和第二永磁体产生的磁场 B_z 进行微调:通过将多个分立磁体元件32i并排地安排为平行于中平面 P_m 的阵列来形成第一和第二永磁体中的每个永磁体。所述阵列由一行或多行分立磁体元件形成。阵列关于中平面 P_m 而布置在偏转腔室的任一侧。优选地,分立磁体元件呈棱柱形状,比如,矩形长方体、立方体或圆柱体。分立的矩形长方体磁体元件可以通过堆叠在彼此顶上并且通过磁力彼此固持的两个立方体形成。

[0119] 通过改变每个阵列中的分立磁体元件的数量,可以相应地改变在偏转腔室中产生的磁场。例如,由Nd-Fe-B永磁体材料制成的 $12 \times 12 \times 12\text{mm}$ 立方体可以两个两个地堆叠起来以便形成尺寸为 $12 \times 12 \times 24\text{mm}$ 的矩形长方体分立磁体元件。可以使用其他磁性材料来代替,比如,铁氧体或Sm-Co永磁体。布置在偏转腔室的相对侧的一个这种分立磁体元件可以产生约 3.9×10^{-3} 特斯拉(T) ($=38.8$ 高斯(G),其中, $1\text{G}=10^{-4}\text{T}$)的磁场。对于约 0.6T ($=6060\text{G}$)的期望磁场 B_z ,在偏转腔室的任一侧需要156个这种分立磁体元件。所述磁体元件可以按 12×13 阵列安排。因此,可以通过 $3.9 \times 10^{-3}/6 \times 10^{-1}=0.6\%$ 的分立步骤通过将分立磁体元件一个一个地添加到阵列中或将其从阵列中移除来调整偏转腔室中的磁场 B_z 。图3(a)中的曲线图针对布置在偏转腔室的任一侧的多行分立元件的两个示例示出了偏转腔室中沿着径向方向 r 的磁场。相比虚线,实线示出了由更大数量的分立磁体元件产生的更高磁场。测量结果显示:可以使用根据本发明形成的永磁体(具体地,通过分立磁体元件)在整个偏转腔室内获得非常恒定的磁场。

[0120] 在使用由分立磁体元件阵列构成的永磁体来使对单独偏转腔室中的磁场的必要微调成为可能的情况下,对永磁体的使用相比对电磁体的使用提供了许多优点。首先,由于不需要对永磁体进行供电,所以减小了rhodotron的整体能耗。对于将连接至具有有限功率容量的能源的移动单元来说,这是有利的。如上文讨论的,甚至是通过如在EP2804451中描述的仅在rhodotron的工作周期的一部分期间对RF源进行供能,rhodotron的电力需求也随着谐振腔的直径 $2R$ 的减小而增大。因此,使用永磁体有助于减小rhodotron的能耗。

[0121] 永磁体可以直接耦合在谐振腔的外壁上,而电磁体的线圈必须定位在距所述外壁的某个距离处。如稍后参照图2(a)和图2(c)描述的,通过允许磁体单元直接邻近外壁,大大简化了rhodotron的构造并且相应降低了生产成本。此外,永磁体不需要任何电气布线、水冷却系统、针对过热的隔热,也不需要被配置例如用于调整电流或水流的任何控制器。不存在耦合至磁体单元的这些元件也大大降低了生产成本。

[0122] 当配备有电磁体的最先进的rhodotron在使用期间经历断电时,电磁体停止以生成磁场,而由磁体单元的所有铁磁部件引起的剩余磁场持续。当电力恢复时,整个设备需要校准以便在每个磁体单元中产生期望磁场。这是一个精细的过程。虽然在固定设施中可能不会非常频繁地发生断电,但是对于插到具有不同容量和质量的电气设施上的移动单元,断电变得经常发生。

[0123] 如图3(a)中示出的,每个磁体单元包括第一和第二支撑元件33,所述第一和第二支撑元件各自包括支撑分立磁体元件的磁体表面33m;以及通过支撑元件的厚度与磁体表面分离的腔室表面33c。腔室表面形成或者邻接偏转腔室的壁。在图3(a)中,这两个支撑元件的腔室表面邻接偏转腔室的第一和第二相对壁,如稍后关于图2(a)讨论的,所述偏转腔室被形成为中心环元件13中的腔。第一和第二支撑元件必须由铁磁材料制成以便驱动来自

由如上文讨论的分立磁体元件32i形成的第一和第二永磁体32的磁场。如果第一和第二支撑元件邻接偏转腔室的第一和第二相对壁,则出于相同原因,所述壁也必须由铁磁材料制成。

[0124] 优选地,第一和第二支撑元件中的每个支撑元件的腔室表面和所述磁体表面是平面的并且平行于中平面 P_m 。如图3(a)中示出的,第一和第二支撑元件中的每个支撑元件的腔室表面的表面积小于磁体表面的表面积。如果用于在偏转腔室中产生例如0.2到0.7T(=2000到7000G)的磁场的分立磁体元件阵列中需要的多个行在径向方向上比腔室区域延伸得更远,则可能发生这种情况。由于磁场线可以通过第一和第二支撑元件沿着远离谐振腔并将磁体表面连接至腔室表面的锥形表面33t从磁体表面的最远部分驱动到腔室表面,所以这不是个问题。由于磁体表面的面积由此可以大于腔室表面的面积,所以第一和第二支撑元件的这些锥形表面拓宽了可使用分立磁体元件来获得的磁场的范围,同时在偏转腔室中维持均匀磁场。

[0125] 出于磁场的稳定性原因,优选的是,对第一和第二支撑元件进行尺寸设定以便在支撑元件被加载到其最大分立磁体元件能力时达到支撑元件中的磁场的饱和。

[0126] 偏转腔室中需要的磁场必须足以使沿着径向轨迹通过偏转窗口31w离开谐振腔室的电子束的轨迹按角度大于 180° 的圆弧弯曲以便驱动所述电子束沿着第二径向轨迹返回到谐振腔室中。例如,在如图1(b)中展示的包括九(9)个磁体单元30i的rhodotron中,所述角度可以等于 198° 。圆弧的半径可以为大约40到80mm,优选地,在50与60mm之间。因此,腔室表面必须在径向方向上具有大约65到80mm的长度。根据待偏转的电子束的能量(速度),将电子束弯曲成这种圆弧所需的磁场在大约0.05T与1.3T之间,优选地,0.1T到0.7T。作为说明性示例,使用沿着上文描述的径向方向测得的12mm宽的各自产生约39G($=3.9 \times 10^{-3}$ T)的磁场的分立磁体元件,在偏转腔室的任一侧需要以具有13行12个分立磁体元件的阵列安排的156个分立元件来在其中产生0.6T的磁场。如果每行都与其相邻行分离1mm的距离,则需要磁体表面具有沿着径向方向测得的至少160mm的长度来支撑这156个分立磁体元件($=13 \text{行} \times 12 \text{mm} + 12 \text{个间隔} \times 1 \text{mm} = 160 \text{mm}$)。因此,在此示例中,磁体表面的长度可以为腔室表面沿着径向方向的长度的2到2.3倍($=160/80$ 到 $160/70=2$ 到2.3)。

[0127] 因此,分立磁体元件阵列可以计数为包括在8与20行之间(优选地,在10与15行之间)的最大行数,每行计数为从8到15个分立磁体元件(优选地,在10与14个分立磁体元件之间)。在每个阵列中具有较高数量分立元件的情况下,可以执行对偏转腔室中的磁场 B_z 的微调。

[0128] 使用专门为此目的而设计的工具可以容易地执行将分立磁体单元添加到磁体表面上或将其从磁体表面移除。如图3(b)中展示的,工具60包括细长型材61。优选地,细长型材61是L形型材或C形型材,用于接纳阵列的给定行中期望的多个分立磁体元件。细长推进件62滑动地安装在细长型材上,用于沿着细长型材推动分立磁体元件。装载有期望数量分立磁体元件的工具被定位成面向阵列的将引入分立磁体元件的行。使用推进件沿着所述行推动分立磁体元件。在将分立磁体元件装载到细长型材上时,它们相互排斥并且使自身沿着细长型材的长度以将其彼此分离的间隔分布。当使用细长推进件来推动分立磁体元件时,必须克服初始阻力,并且然后,分立磁体元件被阵列逐个吸取,并且它们沿着相应行(彼此接触)排成一行。

[0129] 可以使用工具60通过以下方式非常容易地实现将一行分立磁体元件或一行磁体元件的一部分从阵列中移除:将工具定位在待移除行的水平上并使用细长推进件沿着所述行推动从而在所述行的另一侧将分立磁体元件推出。使用工具60,可以通过移除或添加单独的分立磁体元件或整行分立磁体元件来容易地改变偏转腔室中的磁场并且甚至对其进行微调。这可以或者由设备提供商在工厂中或者由最终用户就地完成。

[0130] 为了将磁体单元的元件(比如,第一和第二支撑元件)固持在适当位置并且具体地为了确保磁体单元的磁路闭合(其中,磁力线形成闭环),磁体单元包括图3(a)-(b)中展示的磁轭35。磁轭必须由铁磁材料制成以便确保后一种功能——充当磁通量回路(flux return)。优选地,磁轭允许对第一和第二支撑元件的位置进行微调。

[0131] 现在有可能生产具有相对小尺寸的仅需要单个电源连接来对RF系统进行供应的移动rhodotron。这种移动rhodotron可以装载于货车中并且可以在需要时进行运输。货车还可以携带发电机以便完全自主。

[0132]

参考#	特征
1i	内导体
1o	外导体
1	谐振腔
11	第一半壳
11b	第一半壳的底盖
12	第二半壳
12b	第二半壳的底盖
13	中心环
13p	盖板
14	密封O形环
20	电子源
301...	单独磁体单元
30i	磁体单元(总体上)
31w	偏转窗口
31	偏转腔室
32i	分立磁体元件
32	永磁体
33c	腔室表面
33m	磁体表面
33	支撑元件
35	磁体单元的磁轭
40	电子束
50	电子束出口
60	用于添加或移除磁体元件的工具
61	工具的细长型材
62	工具的细长推进件

70	RF系统
----	------

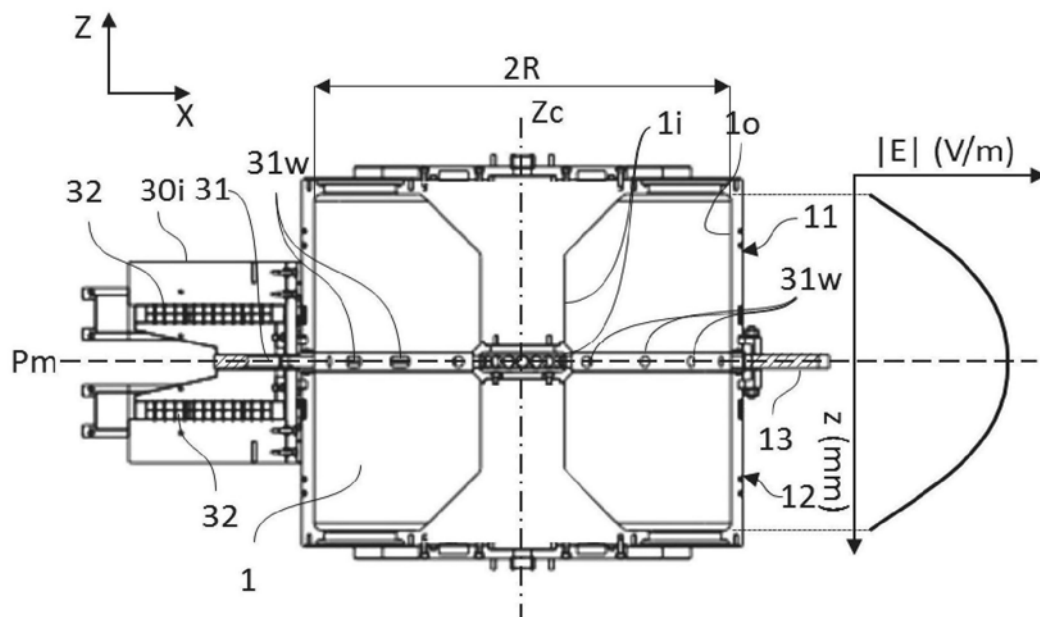


图1 (a)

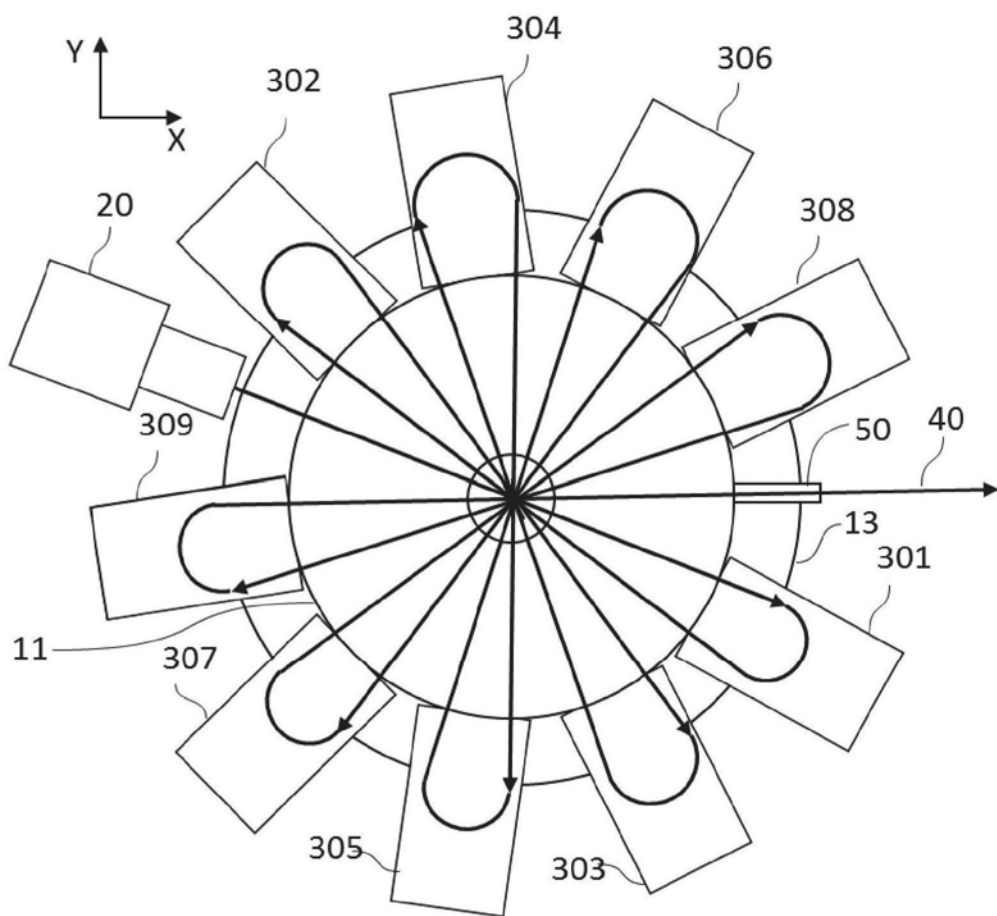


图1 (b)

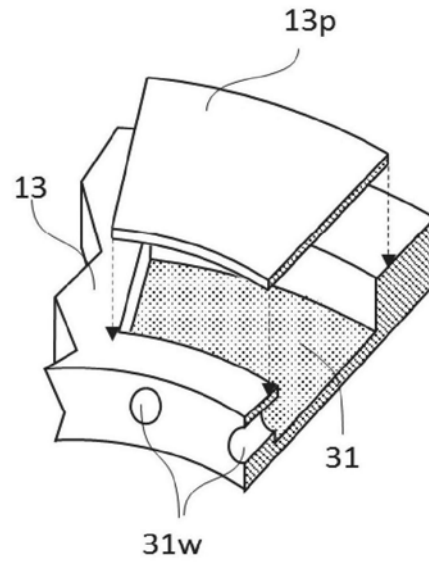


图2(c)

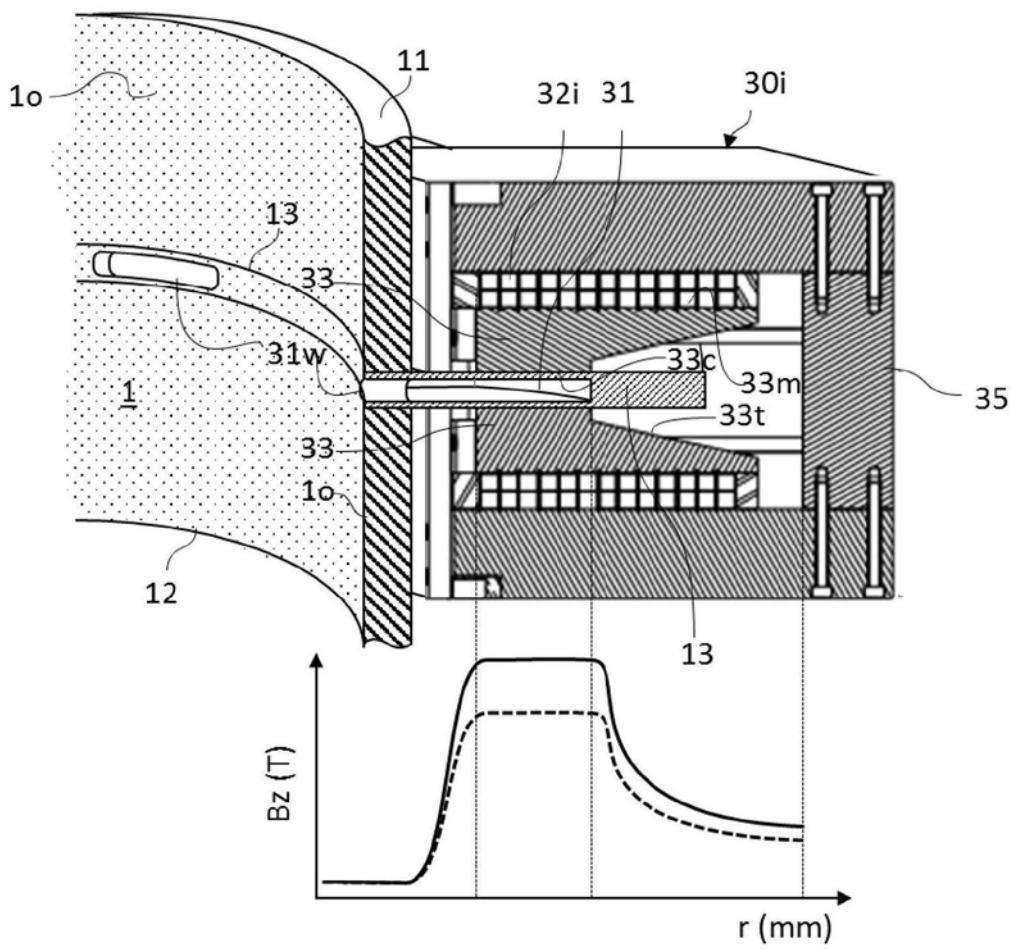


图3(a)

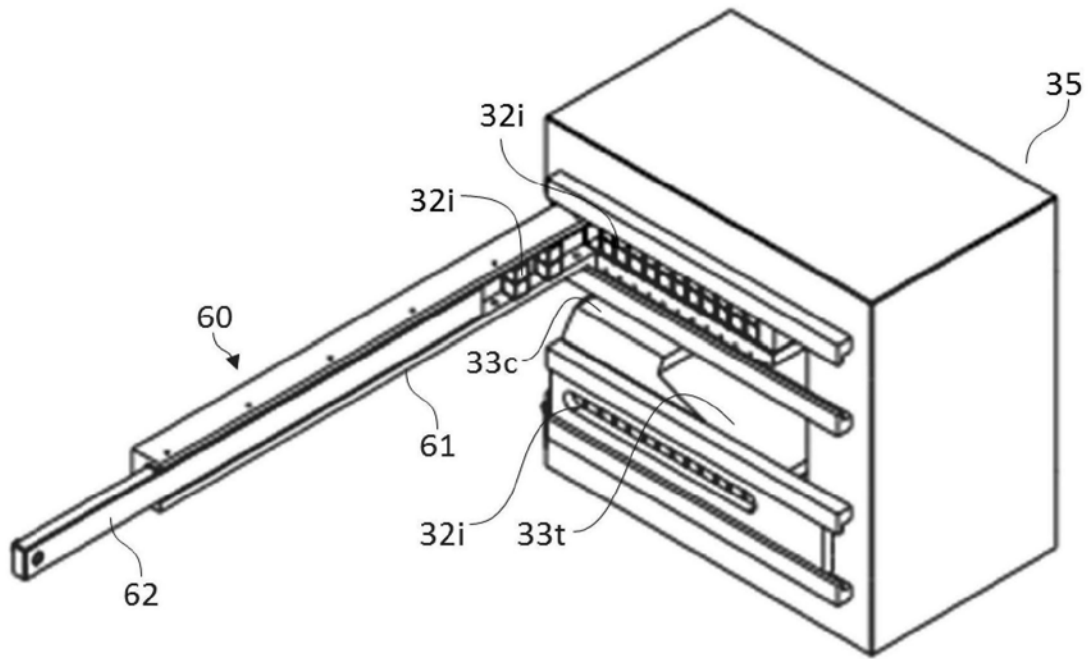


图3 (b)

