



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113366328 A

(43) 申请公布日 2021.09.07

(21) 申请号 201980090649.8

(22) 申请日 2019.11.22

(30) 优先权数据

2019900450 2019.02.12 AU

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2021.07.28

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/AU2019/051285 2019.11.22

(87) PCT国际申请的公布数据

W02020/163892 EN 2020.08.20

(71) 申请人 麦格尼提卡有限公司

地址 澳大利亚昆士兰

(72) 发明人 F·刘 韦日钰 E·韦伯

(74) 专利代理机构 北京润平知识产权代理有限公司 11283

代理人 邱成杰 岳永先

(51) Int.Cl.

G01R 33/3815 (2006.01)

G01R 33/48 (2006.01)

A61B 5/055 (2006.01)

H01F 6/00 (2006.01)

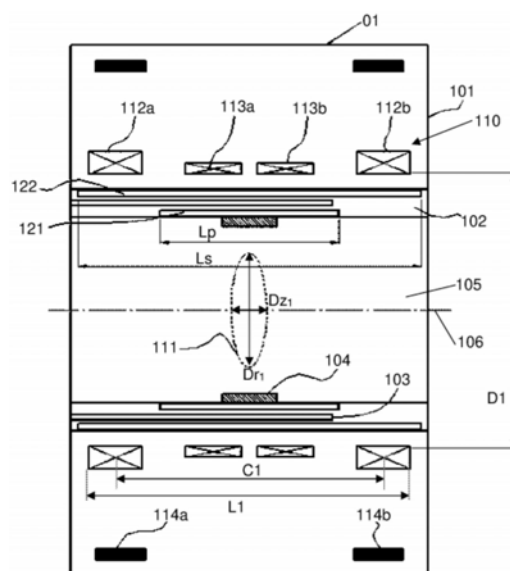
权利要求书4页 说明书11页 附图19页

(54) 发明名称

磁体和磁共振成像系统

(57) 摘要

一种适用于磁共振成像 (MRI) 系统的磁体。磁体包括磁体主体和初级线圈结构,磁体主体具有沿着主体的轴线延伸穿过其中的孔,初级线圈结构具有沿着轴线定位的至少四个初级线圈。第一端部线圈邻近磁体的孔的第一端,第二端部线圈邻近磁体的第二端。第一端部线圈和第二端部线圈被间隔开不大于1000mm,并且由初级线圈产生的成像区域是盘型的。



1. 一种适用于磁共振成像 (MRI) 系统的磁体, 所述磁体具有磁体主体, 所述磁体主体具有沿所述主体的轴线延伸穿过所述磁体主体的孔, 所述磁体包括:

初级线圈结构, 该初级线圈结构具有沿着所述轴线定位的至少四个初级线圈, 所述至少四个初级线圈包括邻近所述磁体的所述孔的第一端的第一端部线圈和邻近所述磁体的第二端的第二端部线圈,

其中, 所述第一端部线圈和所述第二端部线圈间隔开不大于1000mm, 以及
其中由所述初级线圈产生的成像区域是盘型的。

2. 根据权利要求1所述的磁体, 其中, 所述盘型的成像区域具有轴向直径 (D_z) 和径向直径 (D_r), 并且其中, 所述轴向直径小于所述径向直径。

3. 根据权利要求2所述的磁体, 其中, 所述盘型的成像区域的所述轴向直径与所述径向直径的比值等于或小于0.75。

4. 根据权利要求1-3中的任一项所述的磁体, 其中:

所述成像区域沿x轴的直径在100mm与500mm之间;

所述成像区域沿y轴的直径在100mm与500mm之间; 以及

所述成像区域沿z轴的直径在20mm和350mm之间。

5. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体, 其中, 所述成像区域具有250mm (x-) $\times$ 250mm (y-) $\times$ 40mm (z-) 的尺寸。

6. 根据权利要求1-4中的任一项所述的磁体, 其中, 所述成像区域具有320mm (x-) $\times$ 320mm (y-) $\times$ 100mm (z-) 的尺寸。

7. 根据权利要求1-4中的任一项所述的磁体, 其中, 所述成像区域具有450mm (x-) $\times$ 450mm (y-) $\times$ 100mm (z-) 的尺寸。

8. 根据权利要求1-4中的任一项所述的磁体, 其中, 所述成像区域具有300mm (x-) $\times$ 300mm (y-) $\times$ 100mm (z-) 的尺寸。

9. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体, 其中, 所述第一端部线圈和所述第二端部线圈间隔开300mm至1000mm。

10. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体, 其中, 初级线圈结构具有四个初级线圈至八个初级线圈。

11. 根据权利要求10所述的磁体, 其中, 每个所述初级线圈具有相同的电流极性。

12. 根据权利要求10所述的磁体, 其中, 至少四个所述初级线圈中的与所述第二端部线圈相邻的一个初级线圈具有与所述第二端部线圈相反的电流极性。

13. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体, 其中初级线圈结构关于所述成像区域的轴向中心对称。

14. 根据权利要求1-12中的任一项所述的磁体, 其中, 初级线圈结构关于成像区域的轴向中心是不对称的。

15. 根据前述权利要求中任一项所述的磁体, 其中, 所述磁体主体和所述孔呈圆柱形、圆锥形、截头圆锥形或阶梯形。

16. 根据权利要求15所述的磁体, 其中, 所述磁体主体和所述孔包括至少一个圆柱形部分。

17. 根据权利要求16的磁体, 其中, 圆柱形部分邻接截头圆锥形部分。

18. 根据权利要求16所述的磁体,其中,具有直径的第一圆柱形部分邻接具有直径的第二圆柱形部分,其中,所述第一圆柱形部分的直径大于所述第二圆柱形部分的直径。

19. 根据权利要求1-14中的任一项所述的磁体,其中,多个截头圆锥形部分和/或圆柱形部分限定有阶梯内孔。

20. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体,其中,所述孔的内径在200mm和1100mm之间。

21. 根据权利要求15的磁体,其中,所述孔呈截头圆锥形,并具有820mm的最大直径和282mm的较小直径。

22. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体,其中,所述初级线圈呈圆柱形、圆锥形、截头圆锥形或阶梯形。

23. 根据权利要求22的磁体,其中,所述磁体包括阶梯内孔,所述阶梯内孔具有位于所述阶梯内孔的第一阶梯周围的所述初级线圈结构的至少一个初级线圈和位于所述阶梯内孔的第二阶梯周围的所述初级线圈结构的至少一个初级线圈。

24. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体,其中,所述磁体能够产生至少1.0特斯拉的磁场。

25. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体,其中,所述磁体能够产生至少3.0特斯拉的磁场。

26. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体,其中,所述磁场在预定成像区域上是基本均匀的。

27. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体,其中,所述成像区域具有由纵向磁场相对于该纵向磁场在成像中心处的小于20ppm峰峰值的计算的变化值限定的外表面。

28. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体,其中,所述磁体还包括屏蔽线圈结构,并且所述屏蔽线圈结构位于所述初级线圈结构周围。

29. 根据权利要求28所述的磁体,其中,所述屏蔽线圈结构包括至少一个屏蔽线圈,所述至少一个屏蔽线圈具有比所述初级线圈大的直径。

30. 根据权利要求28或29所述的磁体,其中,所述屏蔽线圈结构位于所述初级线圈结构的径向外侧。

31. 根据权利要求27-30中的任一项所述的磁体,其中,所述屏蔽线圈结构包括至少两个屏蔽线圈,并且每个所述屏蔽线圈在与所述初级线圈结构的所述第一端部线圈和所述第二端部线圈中的电流方向相反的方向上承载电流。

32. 根据权利要求31所述的磁体,其中,每个所述屏蔽线圈是超导的或铁磁性的。

33. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体,其中,所述磁体还包括梯度线圈结构,所述梯度线圈结构包括初级线圈层和屏蔽线圈层。

34. 根据权利要求34所述的磁体,其中,所述梯度线圈结构的所述初级线圈层的长度小于所述梯度线圈结构的所述屏蔽线圈层的长度。

35. 根据权利要求33或34所述的磁体,其中,所述梯度线圈结构位于梯度体内,所述梯度体位于所述磁体主体内。

36. 根据权利要求35的磁体,其中,所述梯度体位于所述孔和所述磁体主体之间。

37. 根据权利要求35所述的磁体,其中,所述磁体还包括位于所述梯度线圈结构与所述

孔之间的一个或多个射频(RF)线圈。

38. 根据权利要求37的磁体,其中,所述RF线圈呈对应于所述孔的形状的截头圆锥形和/或圆柱形。

39. 根据权利要求38所述的磁体,其中,所述RF线圈位于围绕所述孔的所述梯度体的内表面上。

40. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体,其中,所述磁体还包括一个或多个匀场槽,每个匀场槽中具有含铁或铁磁材料的匀场部分。

41. 根据权利要求40所述的磁体,其中,所述匀场槽呈截头圆锥形的和/或圆柱形。

42. 根据权利要求40所述的磁体,其中,每个初级线圈具有相关联的匀场槽和匀场部分,所述匀场部分具有与所述磁体主体和/或所述孔的形状一致的形状,其中,所述一个或多个匀场部分被动地匀场所述成像区域以改善场(B_0)的均匀性水平。

43. 根据权利要求42的磁体,其中,所述匀场部分位于所述初级线圈结构和所述屏蔽线圈结构之间。

44. 根据权利要求42的磁体,其中,所述匀场部分位于所述屏蔽线圈结构的外部。

45. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体,其中,所述孔的长度在250mm和1000mm之间。

46. 根据权利要求45所述的磁体,其中,所述孔的长度为300mm、570mm、600mm、800mm或900mm。

47. 根据前述权利要求中的任一项所述的磁体,其中,5高斯线在径向方向上的尺寸在1.5m和6m之间,并且在轴向方向上的尺寸在2.5m和9m之间。

48. 根据权利要求47的磁体,其中,所述5高斯线具有以下尺寸:

径向3m,轴向5m;或

径向4.6m,轴向7.9m;或

径向4.8m,轴向7.0m;或

径向4.3m,轴向6.5m。

49. 一种具有磁体的磁共振成像(MRI)系统,所述磁体具有沿着所述磁体的轴线延伸的孔,所述磁体包括:

初级线圈结构,该初级线圈结构具有沿着所述轴线定位的至少四个初级线圈,所述至少四个初级线圈包括邻近所述磁体的所述孔的第一端的第一端部线圈和邻近所述磁体的第二端的第二端部线圈,

其中,所述第一端部线圈和所述第二端部线圈间隔开不大于1000mm,以及

其中由所述初级线圈产生的成像区域是盘型的。

50. 根据权利要求49所述的磁共振成像系统,其中,所述磁共振成像系统包括适于支撑患者的可移动平台或部分。

51. 根据权利要求50所述的磁共振成像系统,其中,所述可移动平台或部分适于通过所述磁共振成像系统的所述孔移动。

52. 一种磁共振成像扫描的方法,所述方法包括以下步骤:

移动承载患者的平台通过磁共振成像系统,所述磁共振成像系统具有根据权利要求1-48中任一项所述的磁体。

53. 一种适用于磁共振成像 (MRI) 系统的磁体, 所述磁体具有磁体主体, 所述磁体主体具有沿所述主体的轴线延伸穿过所述磁体主体的孔, 所述磁体包括:

初级线圈结构, 该初级线圈结构具有沿着所述轴线同轴定位的至少四个初级线圈, 所述至少四个初级线圈包括邻近所述孔的第一端的第一端部线圈和邻近所述孔的第二端的第二端部线圈, 所述初级线圈结构被布置成在所述孔内生成基本上均匀的盘形成像区域。

磁体和磁共振成像系统

[0001] 本公开涉及用于磁共振成像和磁共振成像 (Magnetic Resonance Imaging, MRI) 系统的磁体。特别地,本公开的发明涉及盘型磁共振成像系统。

背景技术

[0002] 对现有技术的方法、装置或文献的任何引用不应被视为构成它们曾形成或形成公知常识的一部分的任何证据或承认。

[0003] 磁共振成像出现于1980年代,并且已经发展为主要的医学成像模态。

[0004] 临床MRI的成功依赖于产生强且均匀的磁场。MRI机器被设计成在预定区域上产生静磁场,该静磁场被要求基本均匀,且在本领域中被称作“成像区域”、“球域成像空间”或“DSV”。在DSV上静磁场均匀性的偏差通常要求小于20ppm的峰峰值(或2ppm有效值)。

[0005] 自第一代封闭的圆柱体系统以来,MRI设备已经经历了许多改进。特别地,通过提高信噪比和引入高场和超高场磁体,已经在图像的质量/分辨率方面产生了改进。图像分辨率的提高又使得MRI成为越来越多的专家选择的模态,用于结构解剖和功能人体MRI成像。

[0006] 用于产生人类研究的诊断图像的典型磁共振系统的基本部件包括主磁体(通常是在DSV中产生基本均匀的静磁场(B_0 场)的超导磁体)、一组或多组匀场线圈、一组梯度线圈和一个或多个RF线圈。关于MRI的讨论,可见于例如Haacke等人的Magnetic Resonance Imaging:Physical Principles and Sequence Design(磁共振成像:物理原理和序列设计),John Wiley&Sons,Inc.,纽约,1999。还可参见Crozier等人的美国专利No.5,818,319、Crozier等人的美国专利No.6,140,900、Crozier等人的美国专利No.6,700,468、Dorri等人的美国专利No.5,396,207、Dorri等人的美国专利No.5,416,415、Knuttel等人的美国专利No.5,646,532和Laskaris等人的美国专利No.5,801,609,其内容全部并入本文。

[0007] 一般地,整个MRI磁体通常呈长度为大约1.6-2.0米的圆柱形,具有直径在0.8-1.0米范围内的自由孔。通常地,磁体是对称的,使得DSV的中点位于磁体结构沿其主轴线的几何中心处。DSV中磁场的轴向分量的均匀性通常通过球谐函数扩展来分析。

[0008] 在添加辅助部件(梯度和射频线圈)之后,常规MRI机器的典型孔径是具有大约0.6-0.8米的直径(即,刚好大到足以容纳被测对象的肩部)和大约2.0米或更长的长度的圆柱形空间。可预料地,许多人在被置于这样的空间中时会遭受幽闭恐怖症。而且,被测对象的身体的被成像的部分与磁体系统的端部之间的较大距离意味着医生在MRI过程期间不能容易地辅助或亲身监视对象。因此,在临床应用中需要短的或紧凑的磁体系统。

[0009] 设计这种高场系统的挑战是使用当前可用的、成本有效的超导技术来保持场均匀性和DSV的尺寸。磁体性能与轴向和径向上的孔尺寸都有很大关系。短的或紧凑的磁体非常难以设计和建造。这主要是因为由传统设计产生的密集线圈结构将导致不可接受的峰值场值(peak field values)和超导线圈束的应力。通常,必须相对于磁体的尺寸在DSV尺寸上作出工程折衷。

[0010] 除了其对被测对象的影响之外,磁体的尺寸是确定MRI机器的成本以及安装这种机器的成本的主要因素。另一个重要的考虑是将系统保持在低温温度所需的氦的体积。由

于其尺寸大,这种全身磁体用于产生小尺寸对象的图像是昂贵的,所述小尺寸对象例如为头部、四肢和新生儿等。

[0011] 为了安全地使用,MRI机通常需要被屏蔽,使得在操作者的位置处机器周围的磁场低于管理机构指定的暴露水平。通过屏蔽,操作者可以比在未屏蔽系统中安全地更靠近磁体。为了这种安全使用,较长的磁体需要更多的屏蔽和更大的屏蔽室,因此导致更高的成本。

[0012] 因此,在临床应用中需要更短或更紧凑的磁体系统。

[0013] 目的

[0014] 本公开的目的是提供一种磁体或磁共振成像系统,其克服或改善了上述缺点或问题中的一个或多个,或者其至少提供有用的商业替代方案。

[0015] 本发明的其它优选目的将从以下描述中变得显而易见。

发明内容

[0016] 在第一方面,本发明在于一种用于通过移动的人类对象产生磁共振图像的磁共振成像系统。该系统包括:磁体,其产生盘型均匀磁场区;梯度线圈;以及射频(RF)线圈。

[0017] 在另一方面,本发明涉及一种用于移动患者通过磁共振成像系统以在移动期间和/或在多个位置进行成像的方法。

[0018] 在另一方面,本发明涉及一种适用于磁共振成像(MRI)系统的磁体,该磁体具有磁体主体,该磁体主体具有沿其轴线延伸穿过该磁体主体的孔,该磁体包括:

[0019] 初级线圈结构,其具有沿着轴线定位的至少四个初级线圈,所述初级线圈结构包括邻近所述磁体的所述孔的第一端的第一端部线圈和邻近所述磁体的第二端的第二端部线圈,

[0020] 其中,所述第一端部线圈和所述第二端部线圈间隔开不大于1000mm,以及

[0021] 其中由初级线圈产生的成像区域是盘型的(disk-type)。

[0022] 优选地,所述盘型成像区域具有轴向直径(D_z)和径向直径(D_r),其中所述轴向直径小于所述径向直径。更优选地,盘型成像区域的轴向直径与径向直径的比率等于或小于0.75。

[0023] 优选地,成像区域沿x轴的直径在100mm和500mm之间。优选地,成像区域沿y轴的直径在100mm和500mm之间。优选地,成像区域沿z轴的直径在20mm和350mm之间。在优选实施例中,成像区域具有250mm(x-)×250mm(y-)×40mm(z-)的尺寸。在另一个优选实施例中,成像区域具有320mm(x-)×320mm(y-)×100mm(z-)的尺寸。在另一个优选实施例中,成像区域具有450mm(x-)×450mm(y-)×100mm(z-)的尺寸。在又一优选实施例中,成像区域具有300mm(x-)×300mm(y-)×100mm(z-)的尺寸。

[0024] 优选地,第一端部线圈和第二端部线圈间隔开300mm至1000mm。

[0025] 优选地,初级线圈结构具有四个初级线圈至八个初级线圈。优选地,初级线圈结构具有四个初级线圈、五个初级线圈、六个初级线圈或七个初级线圈。

[0026] 优选地,每个初级线圈具有相同的电流极性。可选地,所述至少四个初级线圈中的与所述第二端部线圈相邻的一个初级线圈具有与所述第二端部线圈相反的电流极性。

[0027] 优选地,初级线圈结构相对于成像区域的轴中心对称。或者,初级线圈结构相对于

成像区域的轴向中心是不对称的。

[0028] 优选地,磁体主体和孔呈圆柱形、圆锥形、截头圆锥形或阶梯形。优选地,磁体主体和孔包括至少一个圆柱形部分。优选地,圆柱形部分邻接截头圆锥形部分。替代地或附加地,具有直径的第一圆柱形部分邻接具有直径的第二圆柱形部分,其中第一圆柱形部分的直径大于第二圆柱形部分的直径。优选地,多个截头圆锥体部分和/或圆柱体部分限定了阶梯内孔(steped-diameter bore)。

[0029] 优选地,孔的内径在200mm和1100mm之间。在优选实施例中,孔呈截头圆锥形,且最大直径为820mm,较小直径为282mm。

[0030] 优选地,初级线圈是圆柱形、圆锥形、截头圆锥形或阶梯形的。

[0031] 优选地,磁体包括阶梯内孔,该阶梯内孔具有位于阶梯内孔的第一阶梯周围的至少一个初级线圈和位于阶梯内孔的第二阶梯周围的至少一个初级线圈。

[0032] 优选地,磁体能够产生至少1.0特斯拉的磁场,更优选地,至少3.0特斯拉的磁场。优选地,磁场在预定成像区域上基本上是均匀的。

[0033] 优选地,成像区域具有由纵向磁场相对于成像中心处的纵向磁场的小于20ppm的峰峰值(20parts per million peak-to-peak)的计算变化值(computed variation)限定的外表面。

[0034] 在又一方面,本发明在于一种具有磁体的磁共振成像系统,所述磁体适用于磁共振成像(MRI)系统,所述磁体具有沿所述磁体的轴线延伸的孔,所述磁体包括:

[0035] 初级线圈结构,其具有沿着轴线定位的至少四个初级线圈,所述初级线圈结构包括邻近所述磁体的所述孔的第一端的第一端部线圈和邻近所述磁体的第二端的第二端部线圈,

[0036] 其中,所述第一端部线圈和所述第二端部线圈间隔开不大于1000mm,以及

[0037] 其中由初级线圈产生的成像区域是盘型的。

[0038] 优选地,磁体或MRI系统还包括屏蔽线圈结构。优选地,屏蔽线圈结构位于初级线圈结构周围(即,具有比初级线圈结构更大的直径)。优选地,屏蔽线圈结构包括至少一个具有比初级线圈更大直径的屏蔽线圈。优选地,屏蔽线圈结构位于初级线圈结构的径向外侧。

[0039] 优选地,屏蔽线圈结构具有至少两个屏蔽线圈。

[0040] 优选地,每个屏蔽线圈在与初级线圈结构的第一端部线圈和第二端部线圈中的电流方向相反的方向上承载电流。

[0041] 优选地,每个屏蔽线圈是超导的或铁磁性的。

[0042] 优选地,在使用中,屏蔽线圈调整成像区域内的磁场。

[0043] 优选地,磁体或MRI系统还包括梯度线圈结构,该梯度线圈结构包括初级线圈层和屏蔽线圈层。优选地,梯度线圈结构的初级线圈层的长度小于梯度线圈结构的屏蔽线圈层的长度。更优选地,梯度线圈结构的初级线圈层的长度显著小于梯度线圈结构的屏蔽线圈层的长度。有利地,屏蔽线圈层可以更靠近初级线圈层以减小梯度线圈厚度,同时仍然保持良好的屏蔽性能。

[0044] 优选地,梯度线圈结构位于梯度体内,梯度体位于磁体内。优选地,梯度体位于孔和磁体主体之间。

[0045] 优选地,磁体或MRI系统还包括位于梯度线圈结构和孔之间的一个或多个射频

(RF) 线圈。优选地, RF线圈是对应于孔的形状的截头圆锥体和/或圆柱体。优选地, RF线圈位于围绕孔的梯度体的内表面上。

[0046] 优选地, 该系统还包括一个或多个匀场槽。优选地, 匀场槽是截头圆锥形的和/或圆柱形的。优选地, 匀场部分位于每个匀场槽中。优选地, 匀场部分包括含铁或铁磁材料。优选地, 每个初级线圈具有相关联的匀场槽和匀场部分, 所述匀场槽和匀场部分具有与磁体主体和/或孔的形状一致的形状。优选地, 匀场部分被动地匀场成像区域以改善场 (B_0) 的均匀性水平。优选地, 匀场装置位于初级线圈结构和屏蔽线圈结构之间。在一些实施例中, 匀场装置位于屏蔽线圈结构的外部。优选地, 所述匀场装置位于所述磁体线圈和梯度线圈之间。

[0047] 优选地, 孔的长度在250mm和1000mm之间。在一些优选实施例中, 孔的长度为300mm、570mm、600mm、800mm或900mm。

[0048] 优选地, 5高斯线的尺寸在径向方向上介于1.5m与6m之间, 且在轴向方向上介于2.5m与9m之间。在一些优选实施例中, 5高斯线具有以下尺寸:

[0049] 径向3m, 轴向5m; 或

[0050] 径向4.6m, 轴向7.9m; 或

[0051] 径向4.8m, 轴向7.0m; 或

[0052] 径向4.3m, 轴向6.5m。

[0053] 优选地, 磁共振成像系统包括适于支撑患者的可移动平台或部分。优选地, 可移动平台或部分适于通过磁共振成像系统的孔移动。

[0054] 在另一种形式中, 本发明在于一种磁共振成像扫描方法, 该方法包括以下步骤:

[0055] 移动承载患者的平台通过磁共振成像系统, 所述磁共振成像系统具有如上所述的磁体。

[0056] 根据本发明的另一方面, 提供了一种适用于磁共振成像 (MRI) 系统的磁体, 该磁体具有磁体主体, 该磁体主体具有沿其轴线延伸穿过其的孔, 该磁体包括:

[0057] 初级线圈结构, 其具有沿着所述轴同轴定位的至少四个初级线圈, 所述至少四个初级线圈包括邻近所述孔的第一端的第一端部线圈和邻近所述孔的第二端的第二端部线圈, 所述初级线圈结构被布置成在所述孔内生成基本上均匀的盘形成像区域。

[0058] 本发明的进一步特征和优点将从以下详细描述中变得明显。

附图说明

[0059] 仅通过示例的方式, 将在下文中参考附图更全面地描述本发明的优选实施例, 其中:

[0060] 图1示出了根据本发明的第一实施例的磁共振成像系统的示意性截面图;

[0061] 图1A示出了图1的磁共振成像系统的磁线圈配置和DSV尺寸;

[0062] 图1B示出了图1的磁共振成像系统的磁体外部的杂散场和5高斯线;

[0063] 图2示出了根据本发明的第二实施例的用于磁共振成像系统的磁体的示意性截面图;

[0064] 图3示出了根据本发明的第三实施例的用于磁共振成像系统的磁体的示意性截面图;

- [0065] 图3A示出了图3的磁共振成像系统的磁线圈配置和DSV尺寸；
- [0066] 图3B示出了图3的磁共振成像系统的磁体外部的杂散场和5高斯线；
- [0067] 图4示出了根据本发明的第四实施例的用于磁共振成像系统的磁体的示意性截面图；
- [0068] 图4A示出了图4的磁共振成像系统的磁线圈配置和DSV尺寸；
- [0069] 图4B示出了图4的磁共振成像系统的磁体外部的杂散场和5高斯线；
- [0070] 图5示出了根据本发明的第五实施例的用于磁共振成像系统中的磁体的示意性截面；
- [0071] 图6示出了根据本发明的第六实施例的用于磁共振成像系统中的磁体的示意性截面；
- [0072] 图6A示出了图6的磁共振成像系统的磁线圈结构和DSV尺寸；
- [0073] 图6B示出了图6的磁共振成像系统的磁体外部的杂散场和5高斯线；
- [0074] 图7示出了根据本发明的第七实施例的用在磁共振成像系统中的磁体的示意性截面；
- [0075] 图8示出了根据本发明的第八实施例的用于磁共振成像系统中的磁体的示意性截面；
- [0076] 图9示出了根据本发明的第九实施例的用在磁共振成像系统中的磁体的示意性截面；
- [0077] 图10示出了根据本发明的第十实施例的用于磁共振成像系统的磁体的示意性截面图；以及
- [0078] 图11示出了根据本发明的第十一实施例的用于磁共振成像系统的磁体的示意性截面图。

具体实施方式

[0079] 参考图1,示出了磁共振成像系统01,该系统01包括磁体101、梯度体102、无源匀场槽(passive shim pockets) 103、RF线圈104和平行于纵轴106轴向延伸穿过磁体101的孔105,所述磁体101为超导磁体。

[0080] 磁体101的孔105具有冷孔长度(cold bore length) L1 (优选在250mm和1000mm之间) 和内孔直径D1

[0081] 磁体101关于球形成像空间(DSV)/成像区域的直径的中心对称,并且包括具有四个初级线圈的初级线圈结构110:第一端部线圈112a、第二端部线圈112b和位于第一端部线圈112a和第二端部线圈112b之间的两个中间线圈113a、113b。线圈112a、112b、113a、113b中的每一个具有相同(正)极性。位于孔105的相对端的各个端部线圈112a、112b以距离C1间隔开,该距离优选在300mm和1000mm之间。应当理解,端部线圈112a、112b之间的距离是从一个线圈的中心到另一个线圈的中心测量的。

[0082] 系统01还包括两个屏蔽线圈114a和114b,其具有与初级线圈112a、112b、113a、113b的极性相反(负)的极性,这产生了具有小于径向直径 Dr_1 的轴向直径 Dz_1 的盘型DSV 111,其中DSV 211的轴向直径 Dz_1 与径向直径 Dr_1 的比率等于或小于0.75。

[0083] 梯度体102位于磁体101内。在梯度体102内部,定位有初级梯度线圈层121和屏蔽

梯度线圈层122,从而在三个正交z、x和y轴上生成三个正交梯度场。

[0084] 屏蔽梯度线圈层122的屏蔽梯度线圈中的电流方向与初级梯度线圈层121的相关初级梯度线圈中的电流方向相反。初级梯度线圈层121的长度(L_p)显著短于屏蔽梯度线圈层122的长度(L_s),从而允许初级和屏蔽层之间更近的径向距离,同时仍然维持良好的屏蔽性能。由于DSV较短,RF线圈104也较短,因此效率较高。

[0085] 图1A和1B分别示出了1.5特斯拉超导磁体101A的磁体配置和DSV以及5高斯线。

[0086] 超导磁体101A具有与超导磁体101相同的初级线圈结构110。如图所示,DSV 111a的尺寸为250mm(X-)×250mm(Y-)×40mm(Z-),提供等于0.16的40mm/250mm的 Dz_1/Dr_1 尺寸比,以及10ppm峰峰值的均匀性。

[0087] 磁体101a的孔105a具有570mm的冷孔长度和570mm的内孔直径。

[0088] 位于孔105a的相对端的各个端部线圈112a、112b被间隔开520mm。

[0089] 参照图1B,5高斯线的尺寸在径向方向为3米,在轴向方向为5米,这表明杂散场得到了良好的控制。

[0090] 现在转到图2,示出了根据本发明的实施例的适用于具有初级线圈结构210的磁共振成像系统中的超导磁体02。

[0091] 磁体02包括平行于纵向轴线202轴向延伸穿过磁体02的孔201。

[0092] 磁体02的孔201具有冷孔长度 L_2 (优选在250mm和1000mm之间)和内孔直径 D_2 。

[0093] 磁体02的初级线圈结构210包括五个初级线圈:第一端部线圈212a、第二端部线圈212b、以及相对于DSV 211的中心对称布置的三个中间线圈213a、213b和214,其中中间线圈214跨越DSV 211的中心。第一端部线圈212a和第二端部线圈212b由距离 C_2 间隔开,该距离优选地在300mm和1000mm之间。

[0094] 主线圈结构210的所有五个线圈212a、212b、213a、213b和214具有相同的极性,产生具有小于径向直径 Dr_2 的轴向直径 Dz_2 的盘型DSV 211,其中DSV 211的轴向直径 Dz_2 与径向直径 Dr_2 的比率等于或小于0.75。

[0095] 参考图3,示出了适用于磁共振成像系统的超导磁体03,磁体03具有根据本发明的实施例的初级线圈结构310。

[0096] 磁体03包括平行于纵向轴线302轴向延伸穿过磁体03的孔301。

[0097] 磁体03具有冷孔长度 L_3 (优选地在250mm和1000mm之间)和内孔直径 D_3 。

[0098] 初级线圈结构310包括在磁体03中对称地分布在DSV的中心上的六个初级线圈,其中的四个初级线圈312a、312b、313a、313b具有相同的极性。其余两个线圈314a和314b具有与其它四个相反的极性,这产生了具有小于径向直径 Dr_3 的轴向直径 Dz_3 的盘型DSV 311,其中DSV 211的轴向直径 Dz_3 与径向直径 Dr_3 之比等于或小于0.75。

[0099] 位于孔301的相对端的各个端部线圈312a、312b以距离 C_3 间隔开,该距离优选在300mm和1000mm之间。应当理解,末端线圈312a、312b之间的距离是从一个线圈的中心到另一个线圈的中心测量的。

[0100] 图3A和3B示出了3.0特斯拉超导磁体03A的磁体配置和DSV以及5高斯线,该超导磁体与具有相同初级线圈结构310的超导磁体03基本相同。

[0101] 如上所述,磁体03(以及由此磁体03a)采用六个初级线圈312a、312b、313a、313b、314a、314b,其中四个初级线圈312a、312b、313a、313b具有正极性,并且两个初级线圈314a、

314b具有负极性。此外,磁体03a包括两个也具有负极性的屏蔽线圈315a、315b。

[0102] 图3A中所示的DSV 311A的尺寸为320mm (X-) $\times$ 320mm (Y-) $\times$ 100mm (Z-)。这提供了0.3125的尺寸比 ($Dz_3/Dr_3=100\text{mm}/320\text{mm}$) 和10ppm的峰峰值轮廓 (contours)。

[0103] 磁体03a的孔305a具有800mm的冷孔长度和760mm的内孔直径。

[0104] 位于孔305a的相对端处的相应端部线圈312a、312b间隔开667mm

[0105] 如图3B所示,这种配置提供了5高斯线,其在径向方向为4.6米,在轴向方向为7.9米,这再次证明杂散场得到了良好的控制。

[0106] 图4示出了本发明第四优选实施例的超导磁体04形式的初级线圈结构410。

[0107] 磁体04具有冷孔长度L4 (优选地在250mm和1000mm之间) 和内孔直径D4。

[0108] 磁体04包括具有七个初级线圈的初级线圈结构410: 第一端部线圈412a、第二端部线圈412b和五个中间线圈413a、413b、414、415a和415b。

[0109] 初级线圈结构410相对于DSV 411的中心对称地布置,其中线圈414跨越DSV 411的中心。第一端部线圈412a和第二端部线圈412b位于孔401的相对端部处,并且间隔开距离C4,该距离优选地在300mm和1000mm之间。

[0110] 线圈412a、412b、413a、413b、414具有相同的极性,而线圈415a和415b具有相反的极性,这两者结合起来产生具有小于径向直径 Dr_4 的轴向直径 Dz_4 的盘形DSV 411,其中DSV 411的轴向直径 Dz_4 与径向直径 Dr_4 的比等于或小于0.75。

[0111] 图4A和4B示出了1.5特斯拉超导磁体04A的磁体配置和DSV以及5高斯线,该超导磁体与具有相同初级线圈结构410的超导磁体04基本相同。

[0112] 磁体04a采用七个初级线圈412a、412b、413a、413b、414、415a、415b (如在磁体04中) 和两个屏蔽线圈416a、416b,其中五个初级线圈412a、412b、413a、413b、414具有正极性,两个初级线圈415a、415b以及两个屏蔽线圈416a、416b具有负极性。

[0113] DSV 411a具有450mm (X-) $\times$ 450mm (Y-) $\times$ 100mm (Z-) 的尺寸,提供0.222的尺寸比 ($Dz_4/Dr_4=100\text{mm}/450\text{mm}$)。

[0114] 磁体04a具有899mm的冷孔长度和900mm的内孔直径。

[0115] 位于孔405a的相对端处的相应的端部线圈412a、412b间隔开800mm。

[0116] 转到图4B,可以理解,5高斯线的尺寸在径向方向是4.8米,在轴向方向是7.0米,这表明杂散场是受控的。

[0117] 简单地返回参考图4A,应当注意,DSV 411A具有10ppm峰峰值的均匀性。

[0118] 图5示出了超导磁体05的初级线圈结构510。

[0119] 磁体05包括绕纵向轴线502轴向延伸穿过磁体05的截头圆锥形孔501。

[0120] 磁体05包括具有五个初级线圈的初级线圈结构510: 第一端部线圈512、第二端部线圈513和位于第一端部线圈512和第二端部线圈513之间的三个中间线圈514、515和516。所有的线圈512-516具有相同的极性,具有不对称的截头圆锥体的结构。磁体05的孔501具有冷孔长度L5 (优选在250mm和1000mm之间)。第一端部线圈512a和第二端部线圈513通过距离C5间隔开,该距离优选地在300mm和1000mm之间。

[0121] 端部线圈512具有围绕圆柱形部分503的最大内径D5a,而另一个端部线圈513具有围绕圆柱形部分505的最小内径D5b,其显著小于端部线圈512的内径。通常,线圈516具有与端部线圈512的内径类似的内径,从而允许接近人类肩部。如图所示,线圈513、514位于孔

502的成角度部分/截头圆锥体部分504周围,具有在最大内径D5a和较小内径D5b之间的中间内径D5c。

[0122] 磁体05产生具有小于径向直径 Dr_5 的轴向直径 Dz_5 的盘形DSV 511,其中DSV 511的轴向直径 Dz_5 与径向直径 Dr_5 的比率等于或小于0.75。

[0123] 图6示出了本发明的第六优选实施例的初级线圈结构,其中超导磁体06具有初级线圈结构610。

[0124] 磁体06包括绕纵向轴线602轴向延伸穿过磁体06的窄孔601。

[0125] 磁体06的初级线圈结构610包括六个初级线圈:第一端部线圈612、第二端部线圈613和位于其间的四个中间线圈614、615、616和617。初级线圈612-617具有不对称的截头圆锥体布置。五个线圈612、613、614、615、616具有相同的极性,而邻近端部线圈612的一个初级线圈617具有相反的负极性。在一些替代实施例中,初级线圈617可以位于端部线圈613附近。

[0126] 第一端部线圈612和第二端部线圈613位于孔601的相对端部处,并且间隔开距离C6,该距离优选地在300mm和1000mm之间。应当理解,端部线圈612、613之间的距离是从一个线圈的中心到另一个线圈的中心测量的。

[0127] 端部线圈612位于孔601的具有最大内径D6a的最宽部分(第一圆柱形部分603)附近,而相对的端部线圈613位于孔601的具有最小内径D6b的较窄部分(第二圆柱形部分605)附近,该最小内径显著小于最大内径D6a的内径。

[0128] 如图所示,线圈614、615位于孔601的成角度部分/截头圆锥体部分604周围,具有在最大内径D6a和较小内径D6b之间的中间直径D6c。

[0129] 通常,线圈616具有与端部线圈612的内径相似的内径,从而允许接近人类肩部。

[0130] 磁体06产生具有小于径向直径 Dr_6 的轴向直径 Dz_6 的盘形DSV 611,其中DSV 611的轴向直径 Dz_6 与径向直径 Dr_6 之比等于或小于0.75。

[0131] 在所示的实施例中,磁体06具有冷孔长度L6(优选在250mm和1000mm之间)、最大内孔直径D6a和较小内孔直径D6b。

[0132] 图6A和6B示出了1.5特斯拉超导磁体06A的磁体配置和DSV以及5高斯线,该超导磁体与具有相同初级线圈结构610的超导磁体06基本相同。类似于磁体06,磁体06a采用六个初级线圈612、613、614、615、616、617。磁体06a还包括一个屏蔽线圈618。五个初级线圈612、613、614、615、616具有正极性,一个初级线圈617以及屏蔽线圈618具有相反的负极性。

[0133] 由磁体06a产生的DSV 611a具有300mm(X-)×300mm(Y-)×100mm(Z-)的尺寸,产生0.333(100mm/300mm)的 Dz_6/Dr_6 比率和10ppm峰峰值的均匀性。

[0134] 在所示的实施例中,磁体06a具有600mm的冷孔长度、820mm的最大内孔直径和282mm的最小内孔直径。

[0135] 位于孔605a的相对端处的相应端部线圈612、613间隔开550mm。参照图6B,可以看出磁体06a的5高斯线的尺寸在径向方向上是4.3米,在轴向方向上是6.5米,以示出杂散场被很好地控制。

[0136] 图7示出了具有初级线圈结构710的另一磁体07。

[0137] 磁体07包括绕纵向轴线702轴向延伸穿过磁体07的阶梯孔701。

[0138] 在所示实施例中,磁体07具有L7的冷孔长度(优选在250mm和1000mm之间)。

[0139] 初级线圈结构710具有五个具有相同极性的初级线圈712、713、714、715和716,其具有不对称的、三阶梯布置。

[0140] 端部线圈712位于孔701的具有最大内径 $D7a$ 的最宽部分(第一阶梯703)附近,而相对的端部线圈713位于孔701的具有比最大内径 $D7a$ 小得多的最小内径 $D7b$ 的最窄部分(第三阶梯705)附近。

[0141] 第一端部线圈712和第二端部线圈713以距离 $C7$ 间隔开,该距离优选地在300mm和1000mm之间。

[0142] 线圈716具有与端部线圈712相似的内径,允许人体肩部进入。位于孔701的第二台阶(第二台阶704)周围的、与末端线圈713相邻的两个中等尺寸的线圈714和715具有相同或相似的内径 $D7c$,其明显小于最大内径 $D7a$,并且明显大于最小内径 $D7b$ 。

[0143] 磁体07产生具有小于径向直径 Dr_7 的轴向直径 Dz_7 的盘型DSV 711,其中DSV 711的轴向直径 Dz_7 与径向直径 Dr_7 之比等于或小于0.75。

[0144] 图8示出了磁体08的初级线圈结构810。

[0145] 磁体08包括绕纵向轴线802轴向延伸穿过磁体08的阶梯孔801。

[0146] 在所示的实施例中,磁体08具有长度为 $L8$ (优选地在250mm和1000mm之间)的冷孔。

[0147] 初级线圈结构810包括六个初级线圈812、813、814、815、816和817,具有不对称的、三段式的配置。

[0148] 五个线圈812、813、814、815、816具有相同的极性,而与端部线圈812相邻的一个初级线圈817具有相反的极性。在一些实施例中,初级线圈817可以位于与相对的端部线圈813相邻的位置。

[0149] 端部线圈812位于孔801的具有最大内径 $D8a$ 的最宽部分(第一阶梯803)附近,而相对的端部线圈813位于孔801的具有比最大内径 $D8a$ 小得多的最小内径 $D8b$ 的最窄部分(第三阶梯805)附近。通常,线圈816具有与端部线圈812的内径相似的内径,从而允许接近人类肩部。

[0150] 第一端部线圈812和第二端部线圈81间隔开距离 $C8$,其优选在300mm和1000mm之间。

[0151] 位于孔801的第二台阶804附近的、与端部线圈813相邻的两个中等尺寸线圈814和815具有相同或相似的内径 $D8c$,其明显小于最大内径 $D8a$,并且明显大于最小内径 $D8b$ 。

[0152] 磁体08产生具有小于径向直径 Dr_8 的轴向直径 Dz_8 的盘形DSV 811,其中DSV 811的轴向直径 Dz_8 与径向直径 Dr_8 的比值等于或小于0.75。

[0153] 图9示出了根据本发明另一实施例的磁体09。

[0154] 磁体09包括围绕纵向轴线902轴向延伸穿过磁体09的阶梯孔901。

[0155] 在所示实施例中,磁体09具有长度为 $L9$ (优选在250mm与1000mm之间)的冷孔。

[0156] 磁体09包括初级线圈结构910,其具有五个具有相同极性的初级线圈912、913、914、915和916,具有不对称的两级布置。可以理解,磁体可以具有更多的初级线圈。

[0157] 在孔901的第一台阶903处有两个初级线圈912和916,它们具有相同或相似的内径 $D9a$ 。在孔901的第二台阶904处还具有三个初级线圈913、914和915,它们具有相同或相似的内径 $D9b$ 。

[0158] 第一台阶903处的线圈912、916的内径显著大于第二台阶904处的线圈913、914、

915的内径。

[0159] 第一端部线圈912和第二端部线圈913以距离C9间隔开,该距离优选地在300mm和1000mm之间。

[0160] 磁体09产生具有小于径向直径 Dr_9 的轴向直径 Dz_9 的盘形DSV 911,其中DSV 911的轴向直径 Dz_9 与径向直径 Dr_9 之比等于或小于0.75。

[0161] 图10示出了包括初级线圈结构1010的磁体010。

[0162] 磁体010包括阶梯孔1001,其围绕纵向轴线1002轴向地延伸穿过磁体010。

[0163] 在所示的实施例中,磁体010具有L10的冷孔长度(优选地在250mm和1000mm之间)。

[0164] 磁体010包括七个初级线圈1012、1013、1014、1015、1016、1017和1018,具有不对称的、两级的布置。主线圈结构1010的五个线圈1012、1013、1014、1015、1016具有相同的极性,而分别与两个端部线圈1012和1013相邻的两个主线圈1017、1018具有与五个线圈1012、1013、1014、1015、1016相反的极性。

[0165] 第一端部线圈1012和第二端部线圈1013以距离C10间隔开,该距离优选地在300mm和1000mm之间。

[0166] 三个初级线圈1012、1016和1017位于具有内径D10a的孔1001的第一台阶1003周围。还有四个初级线圈1013、1014、1015和1018位于具有内径D10b的孔1010的第二阶梯1004周围。

[0167] 第一阶梯1003处的线圈1012、1016、1017的内径显著大于第二阶梯1004处的线圈1013、1014、1015、1018的内径。磁体010产生具有小于径向直径 Dr_{10} 的轴向直径 Dz_{10} 的盘型DSV 1011,其中DSV 1011的轴向直径 Dz_{10} 与径向直径 Dr_{10} 的比值等于或小于0.75。

[0168] 图11示出了包括初级线圈结构1110的磁体011。

[0169] 磁体011包括绕纵向轴线1102轴向地延伸穿过磁体011的两级阶梯孔1101。

[0170] 在所示实施例中,磁体011具有L11的冷孔长度(优选地在250mm与1000mm之间)。

[0171] 磁体011包括具有不对称的、两级布置的七个初级线圈1112、1113、1114、1115、1116、1117和1118。

[0172] 初级线圈结构1110的五个线圈1112、1113、1114、1115、1116具有相同的极性,而分别与两个端部线圈1112和1113相邻的两个初级线圈1117、1118具有与其他五个线圈1112、1113、1114、1115、1116相反的极性。

[0173] 第一端部线圈1112和相对的第二端部线圈1113间隔开距离C11,该距离优选在300mm和1000mm之间。

[0174] 六个初级线圈1112、1114、1115、1116、1117和1118位于具有内径D11a的孔1101的第一台阶1103周围。其余的初级线圈1113位于具有内径D11b的孔1110的第二阶梯1104周围。

[0175] 围绕第一台阶1103的线圈1112、1114、1115、1116、1117和1118的内径显著大于围绕第二台阶1104的线圈1113的内径。

[0176] 磁体011产生具有小于径向直径 Dr_{11} 的轴向直径 Dz_{11} 的盘型DSV 1111,其中DSV1111的轴向直径 Dz_{11} 与径向直径 Dr_{11} 的比率等于或小于0.75。

[0177] 参考上述实施例,孔的内径优选地在200mm和1100mm之间。在一些优选实施例中,孔是具有820mm的最大内径和282mm的最小内径的截头圆锥形。

[0178] 通常, MRI磁体中的DSV被设计成包围整个被研究器官(例如, 整个脑)。典型的DSV尺寸为直径45-50cm, 具有球形或轻微椭球形的体积, 使得在扫描/成像器官时患者保持位于DSV的中心。因此, 在检查该器官期间患者不移动。DSV在轴向上的尺寸对磁体的长度具有很强的影响。本发明的特征是DSV具有比其径向范围小得多的轴向范围。这允许磁体比常规系统短, 并且在使用中, 通过以自动控制的方式移动患者通过磁体系统来实现整个器官成像。这种新方法显著地减少了磁体设计的DSV限制, 并允许设计一系列新颖的磁体。此外, 在一些实施例中, 患者可移动通过成像区域/DSV, 从而允许成像设备的长度显著地更短, 因为待成像的患者的器官不需要在DSV内居中。

[0179] 在使用中, 磁体能够产生至少1.0特斯拉的磁场, 优选地至少3.0特斯拉, 其在预定成像区域或空间(也称为“均匀区域”或“DSV”)上基本上是均匀的。典型地, 成像区域具有由纵向磁场相对于成像中心处的纵向磁场的小于20ppm的峰峰值的计算变化值限定的外表面。

[0180] 在本说明书中, 术语“球形成像空间”、“DSV”和“成像区域”可互换使用。

[0181] 在本说明书中, 形容词例如第一和第二、左和右、顶部和底部等可以仅用于将一个元件或动作与另一个元件或动作区分开, 而不一定要求或暗示任何实际的这种关系或顺序。在上下文允许的情况下, 对整数或组件或步骤(或类似者)的参考不应被解释为限于所述整数、组件或步骤中的仅一者, 而是可为所述整数、组件或步骤等中的一者或一者以上。

[0182] 为了描述的目的, 向本领域的普通技术人员提供了本发明的各种实施例的以上详细描述。其不是穷举的, 也不是要将本发明限制为单个公开的实施例。如上所述, 本发明的许多替代和变化对于上述教导的本领域技术人员来说是显而易见的。因此, 虽然已经具体讨论了一些替代实施例, 但是本领域普通技术人员将清楚或相对容易地开发其他实施例。本发明旨在包括已经在此讨论的本发明的所有替换、修改和变化, 以及落入上述发明的精神和范围内的其他实施例。

[0183] 在本说明书中, 术语“包括”、“包含”、“包括”或类似术语意在表示非排他性的包括, 使得包括一系列元素的方法、系统或装置不仅仅包括那些元素, 而是可以包括未列出的其他元素。

[0184] 在整个说明书和权利要求书(如果存在)中, 除非上下文另有要求, 术语“基本上”或“约”将被理解为不限于由术语限定的具体值或范围。

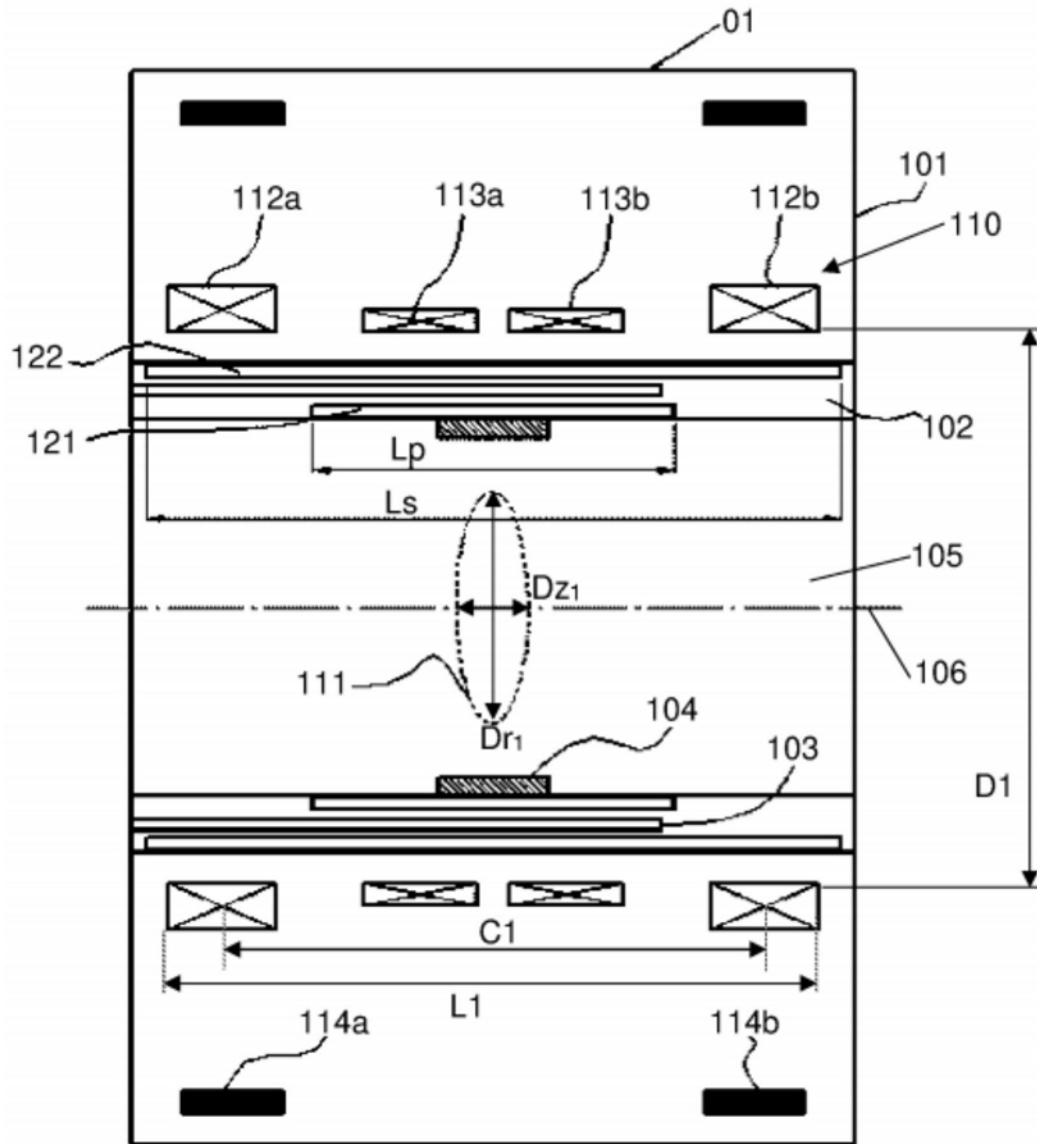


图1

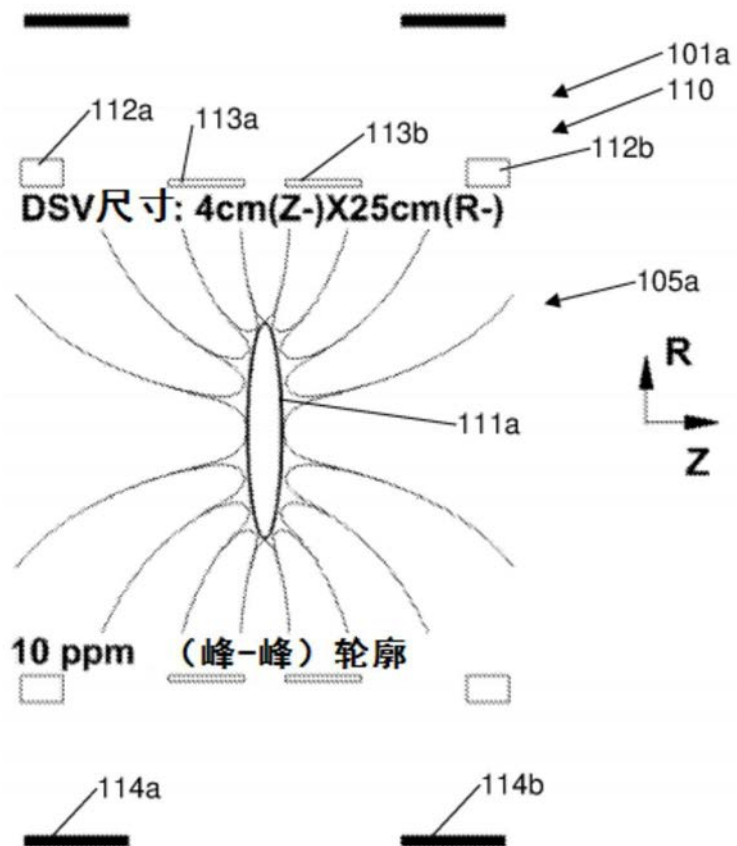


图1A

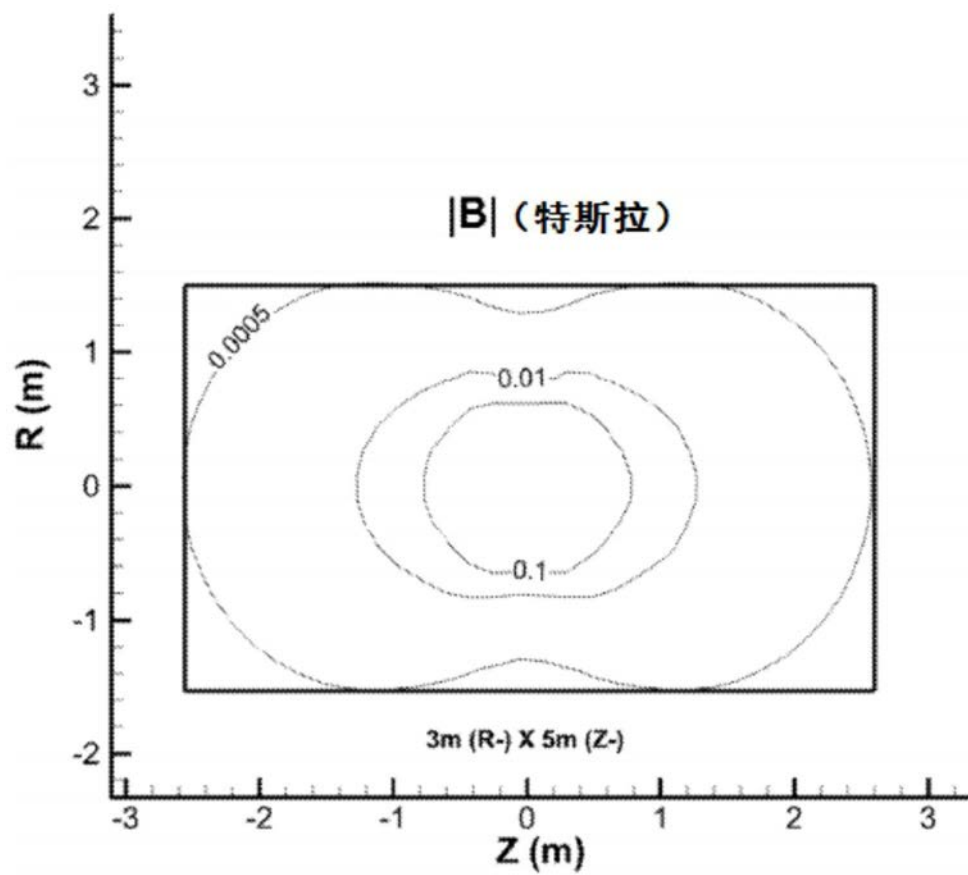


图1B

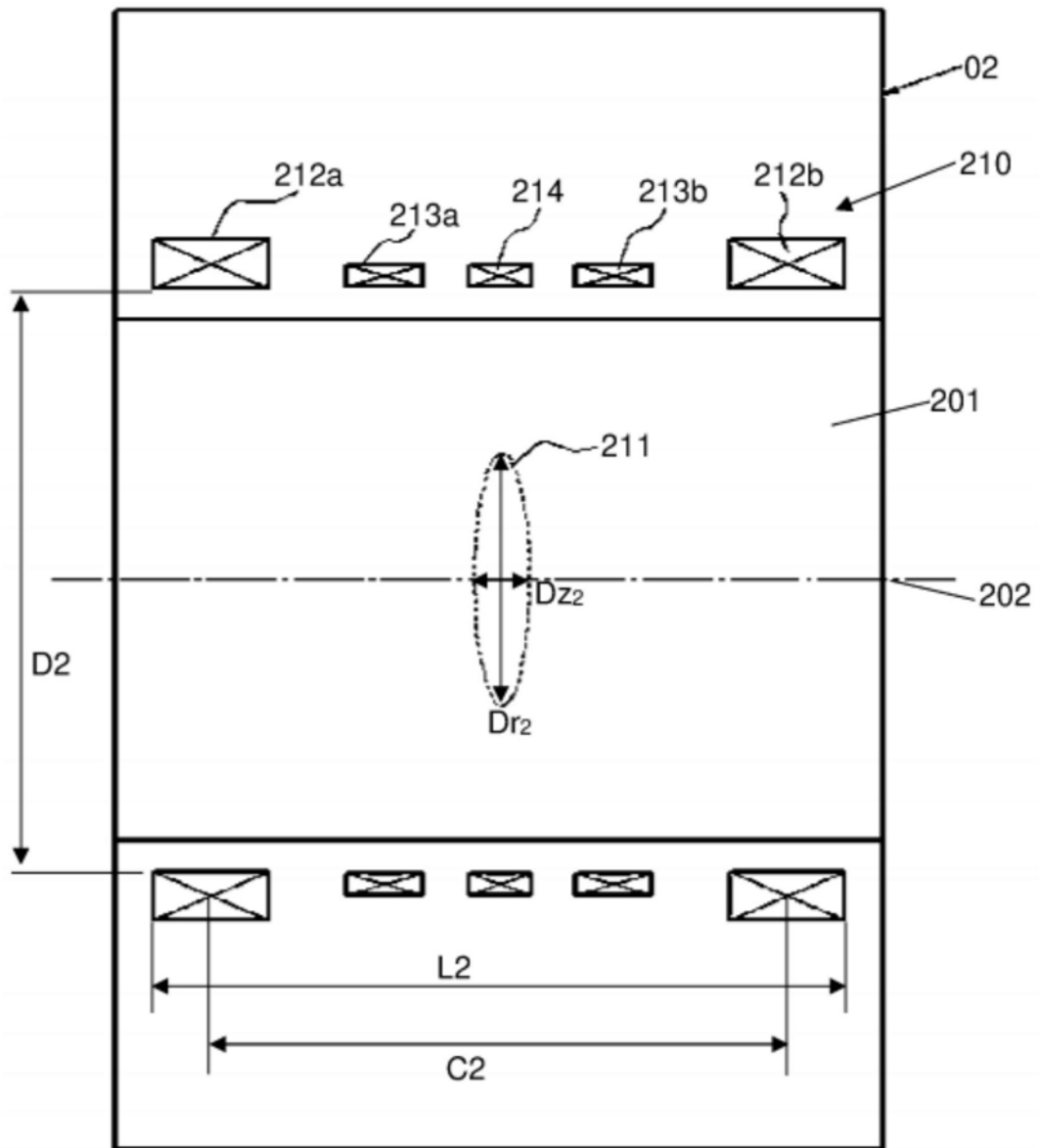


图2

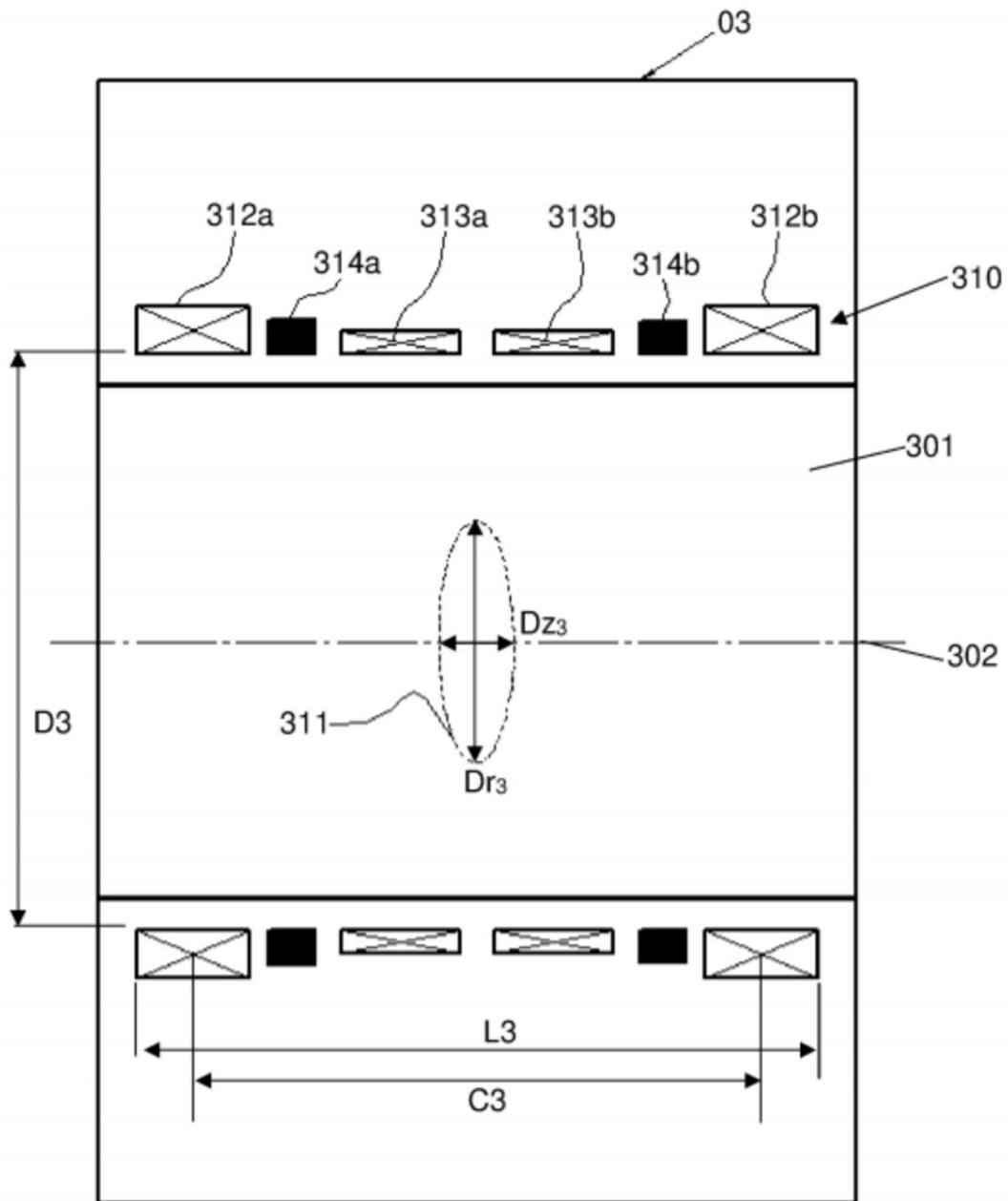


图3

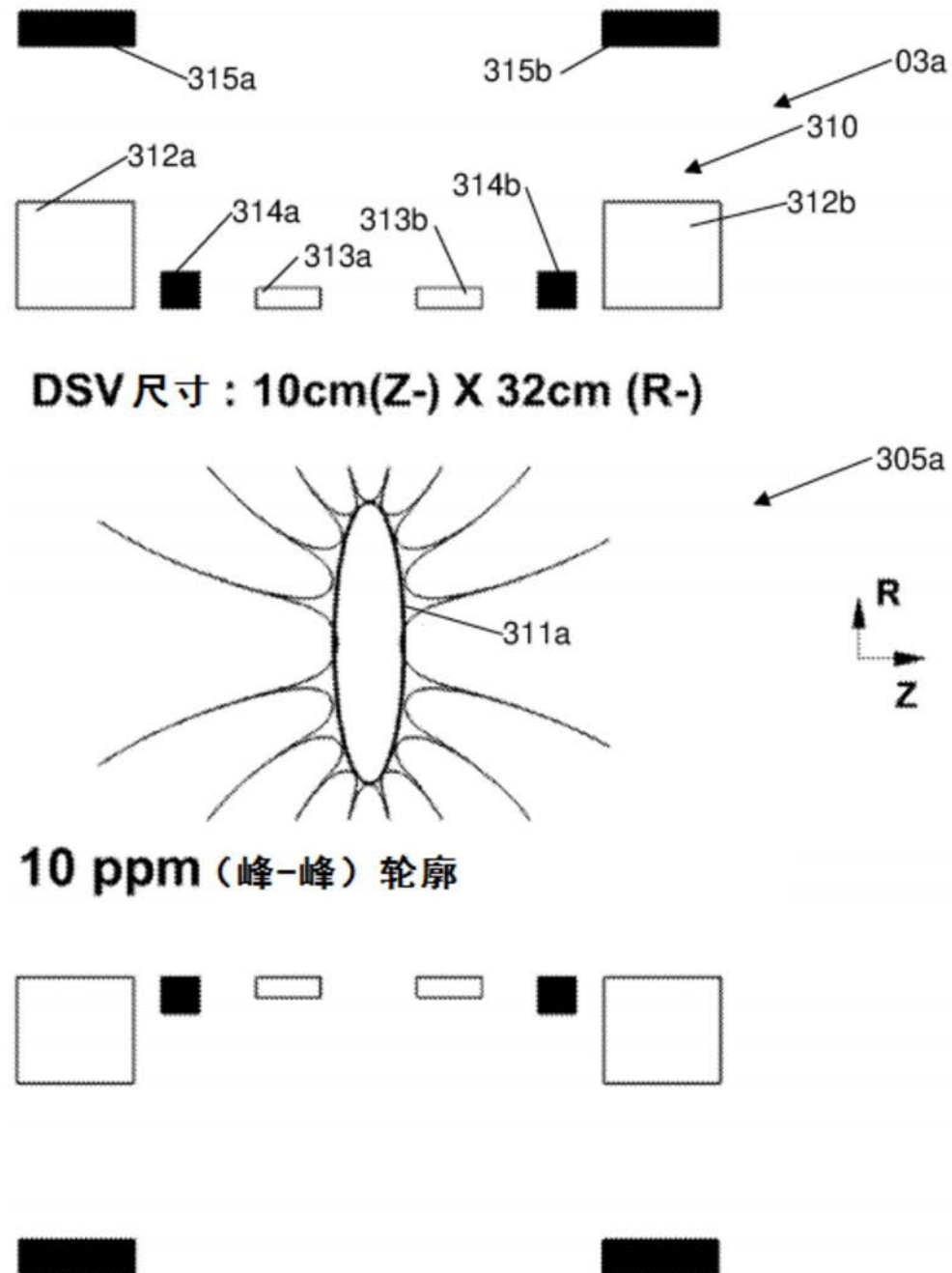


图3A

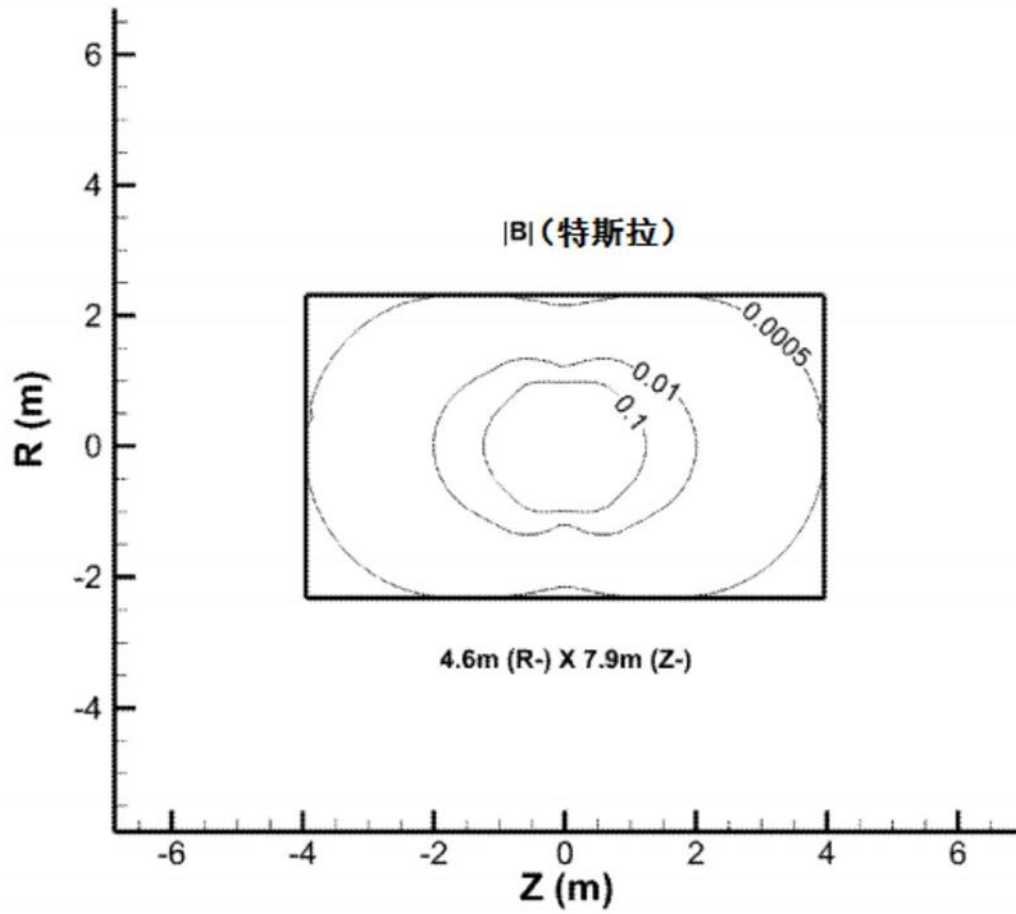


图3B

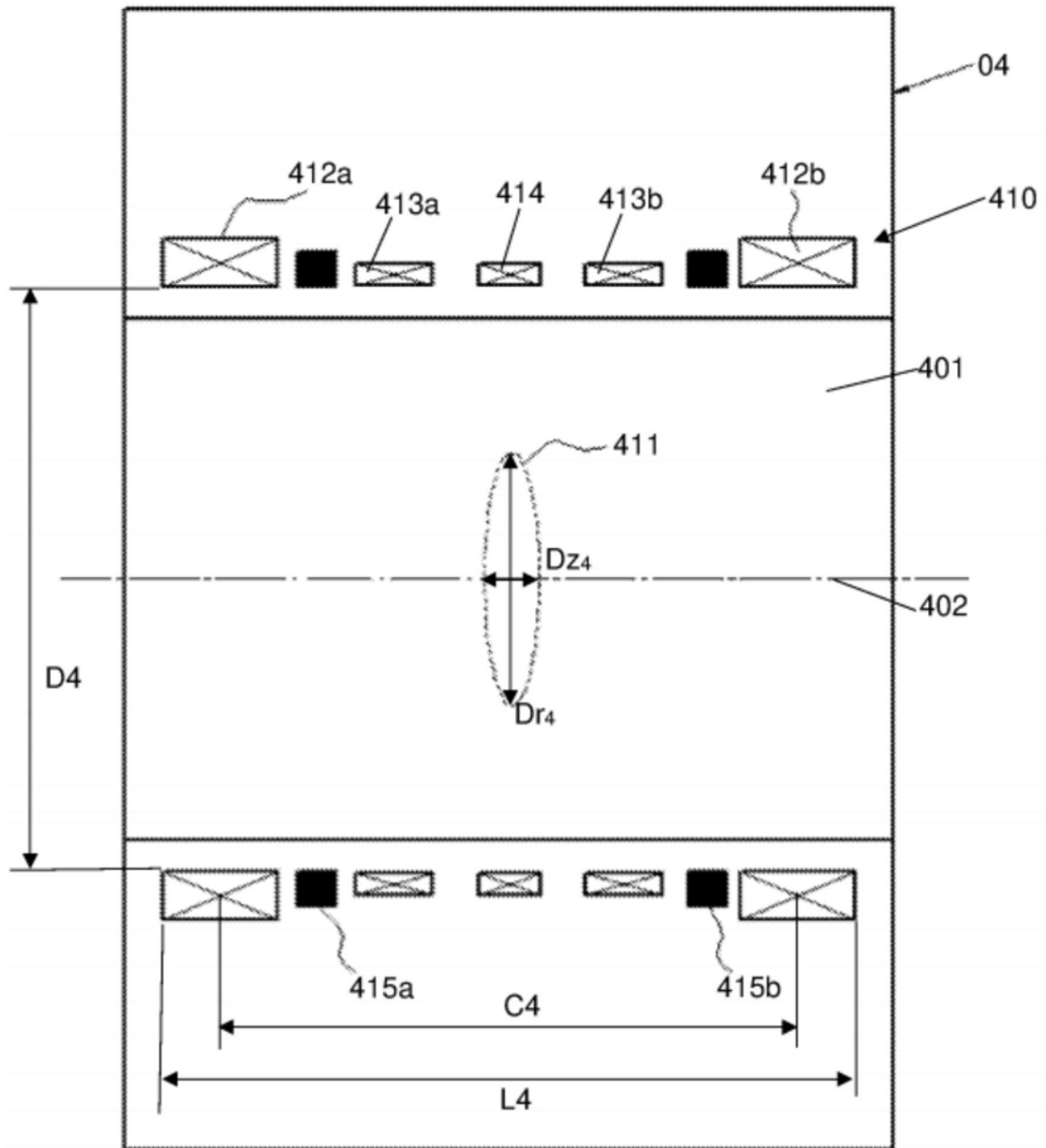


图4

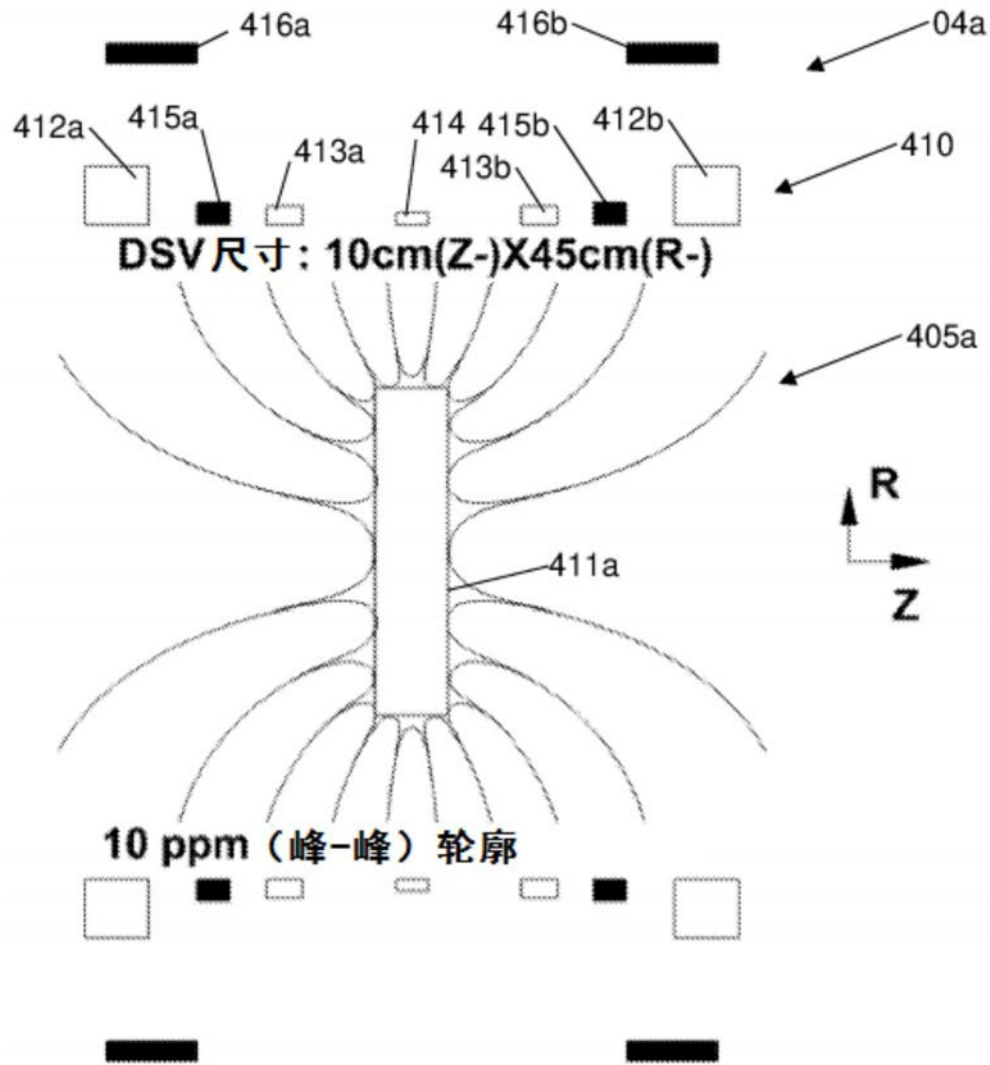


图4A

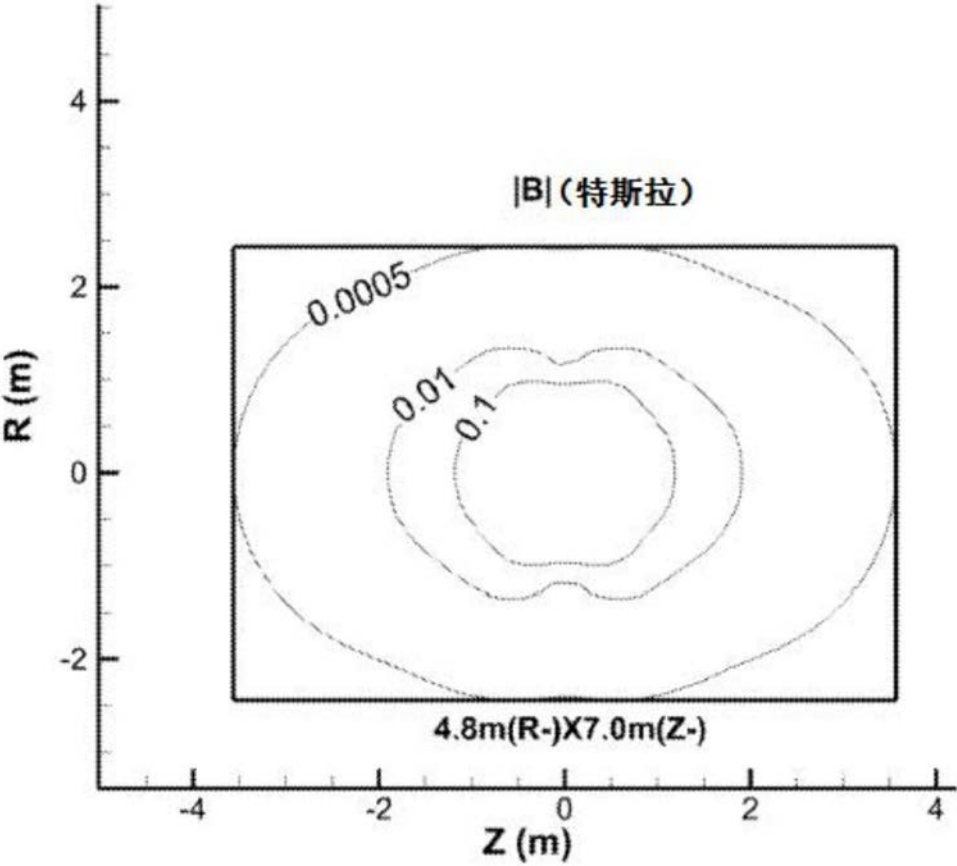


图4B

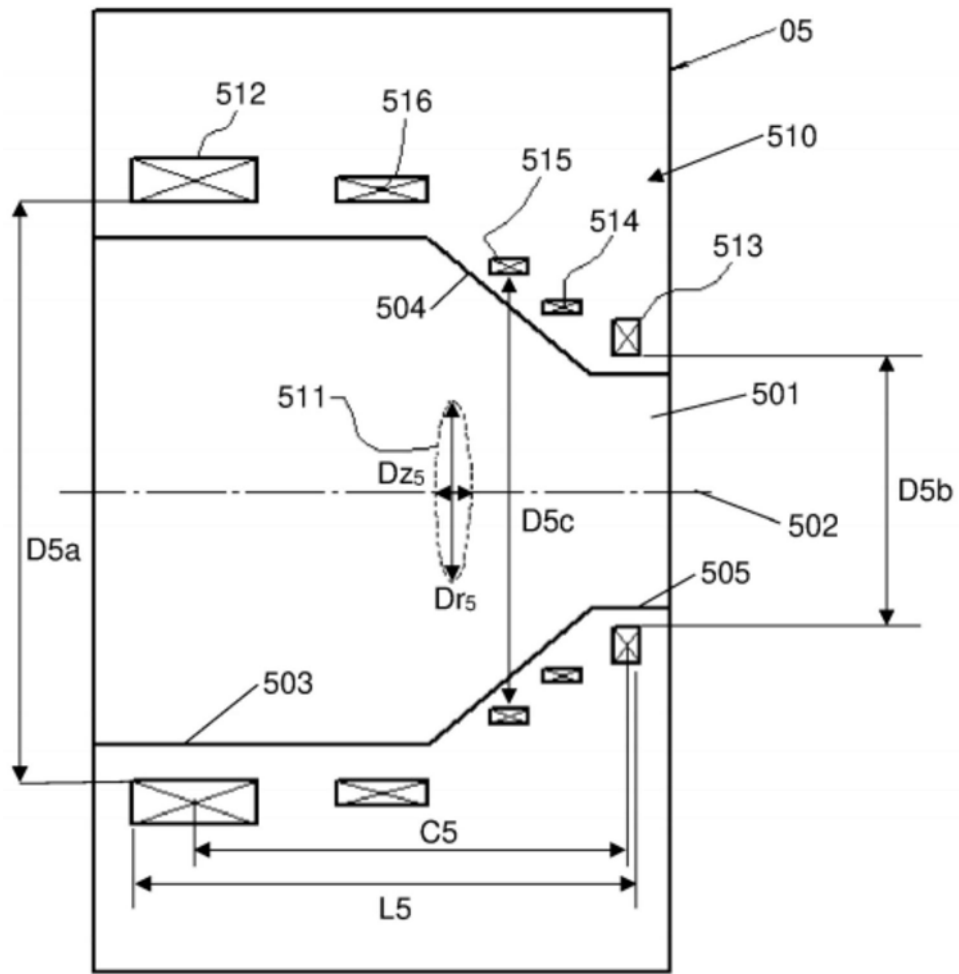


图5

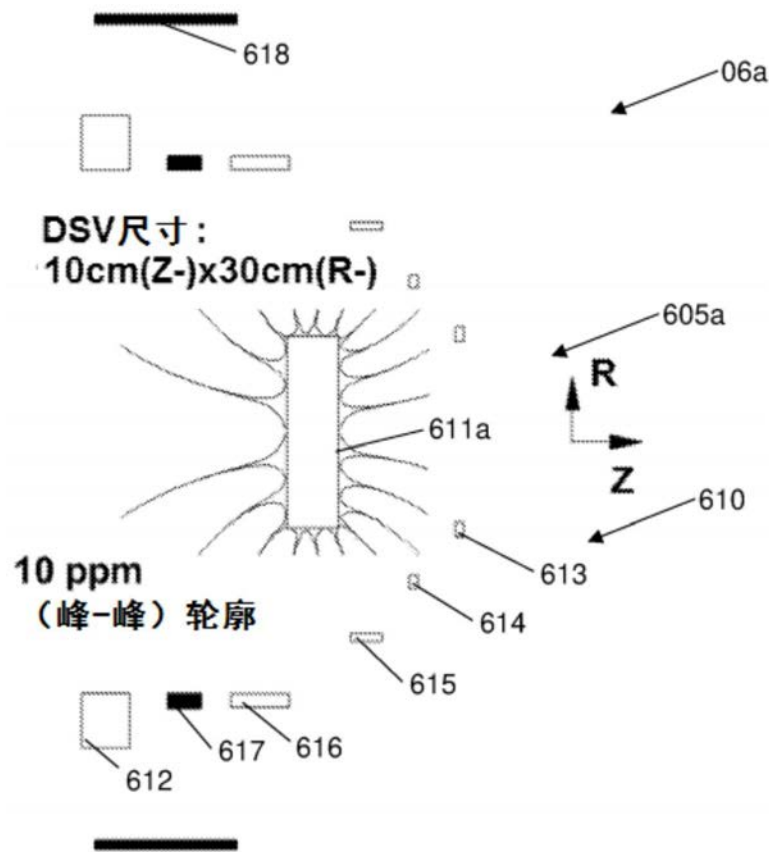


图6A

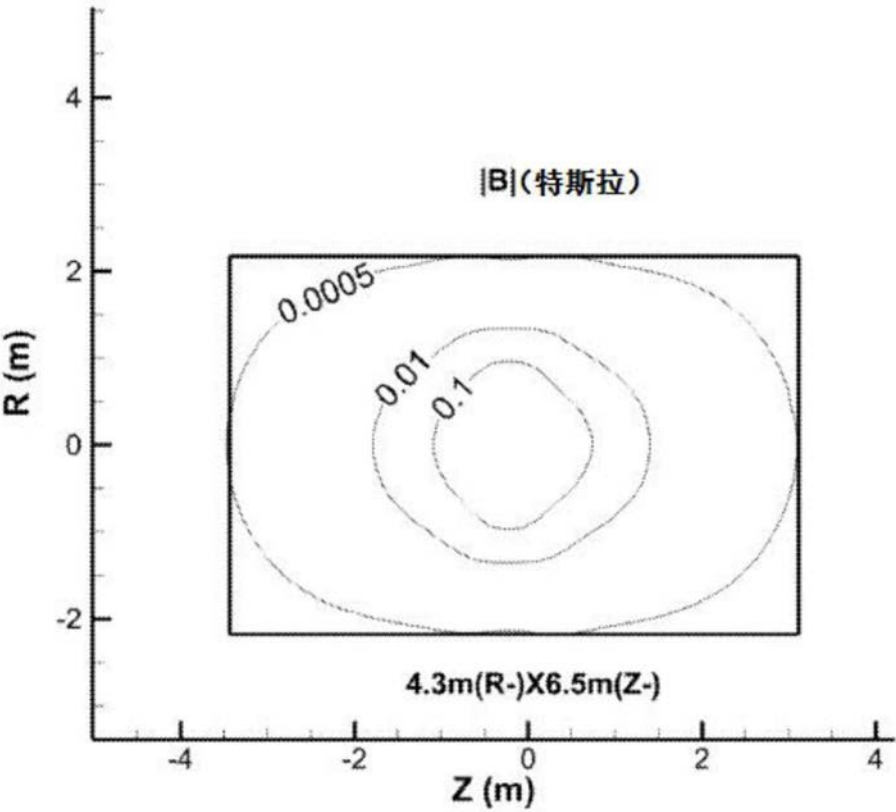


图6B

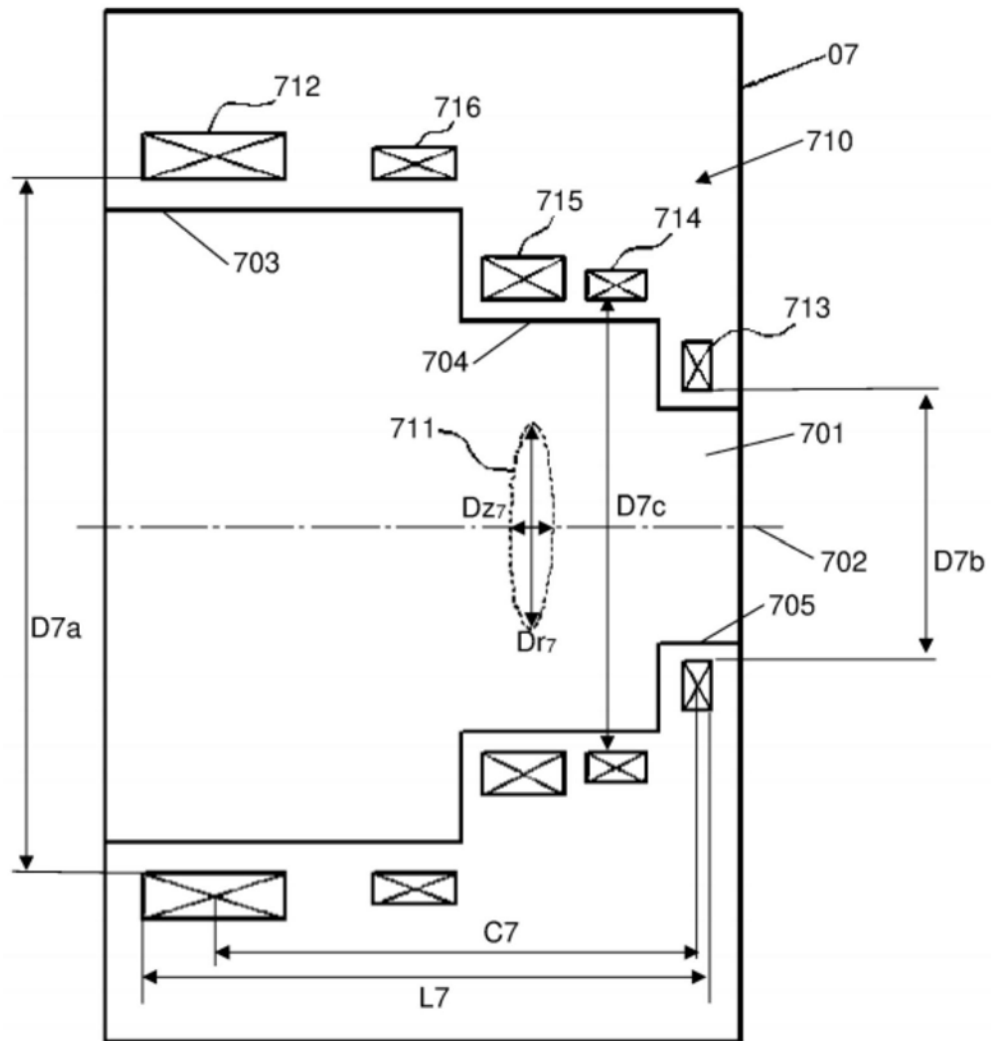


图7

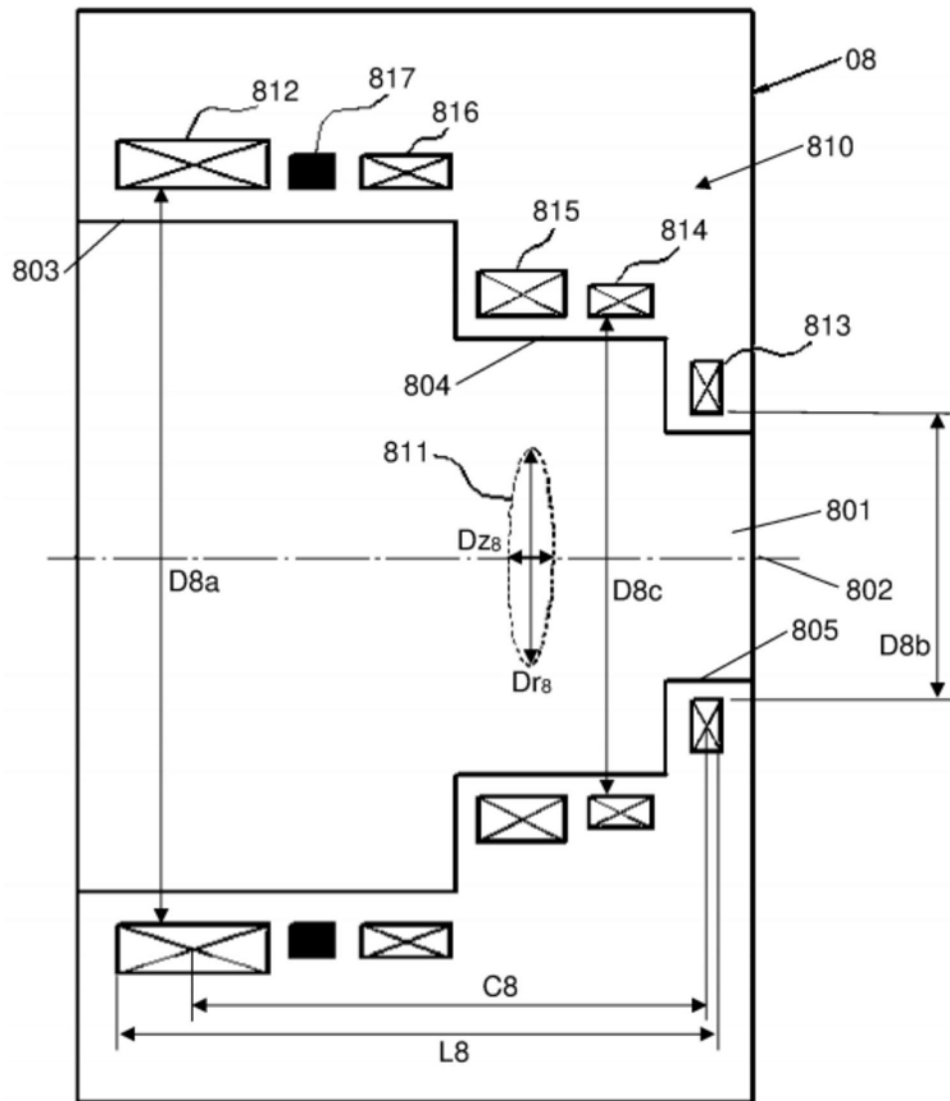


图8

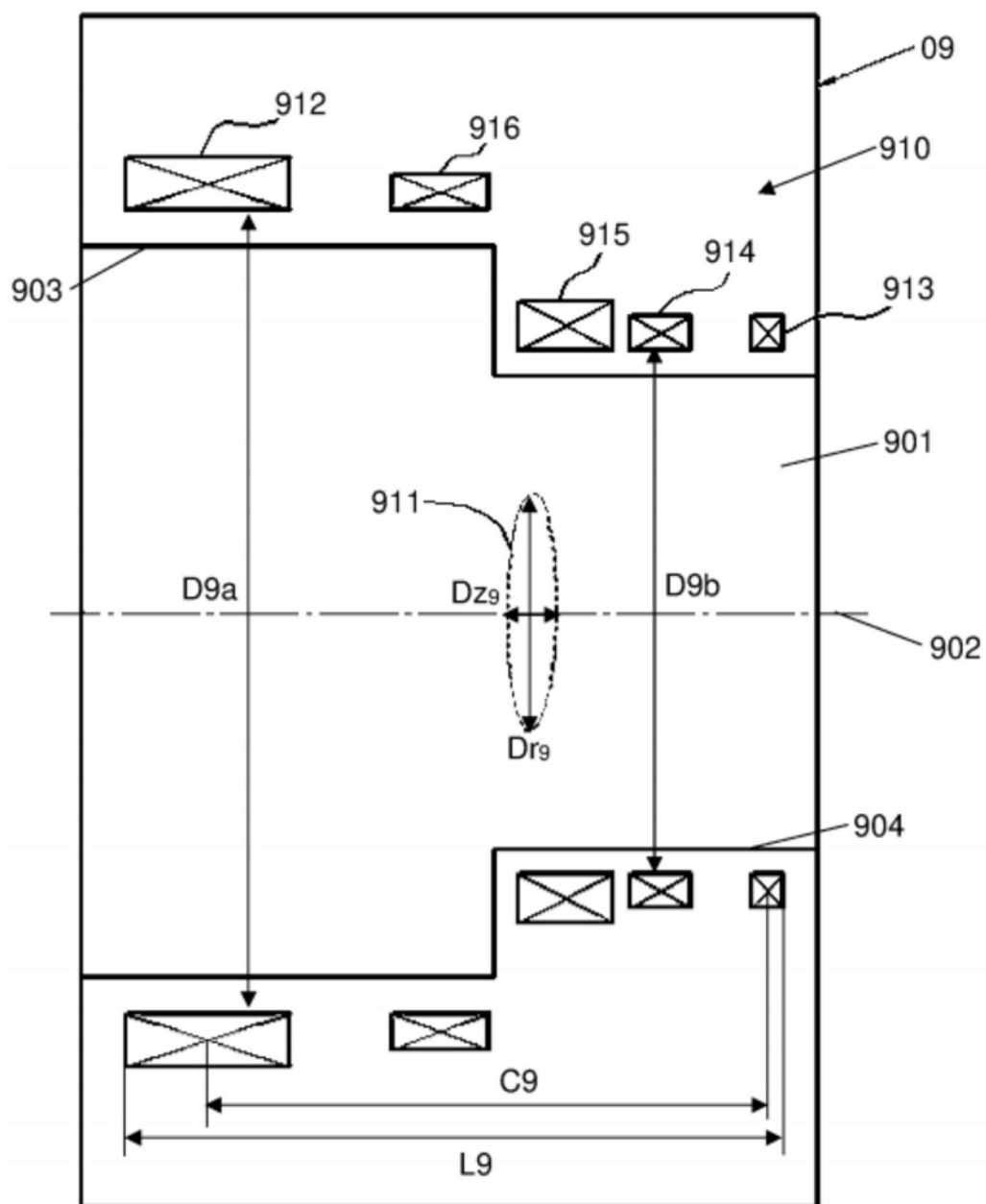


图9

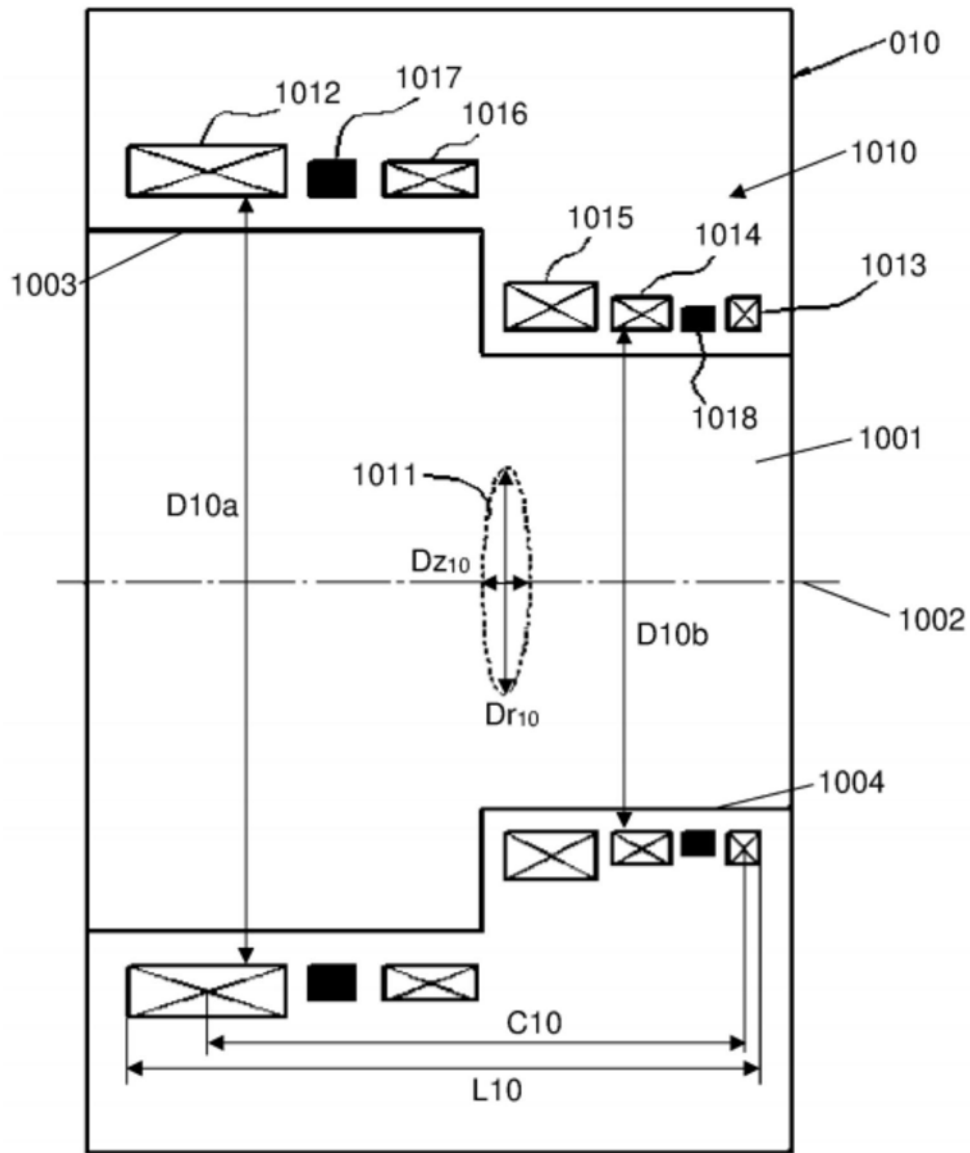


图10

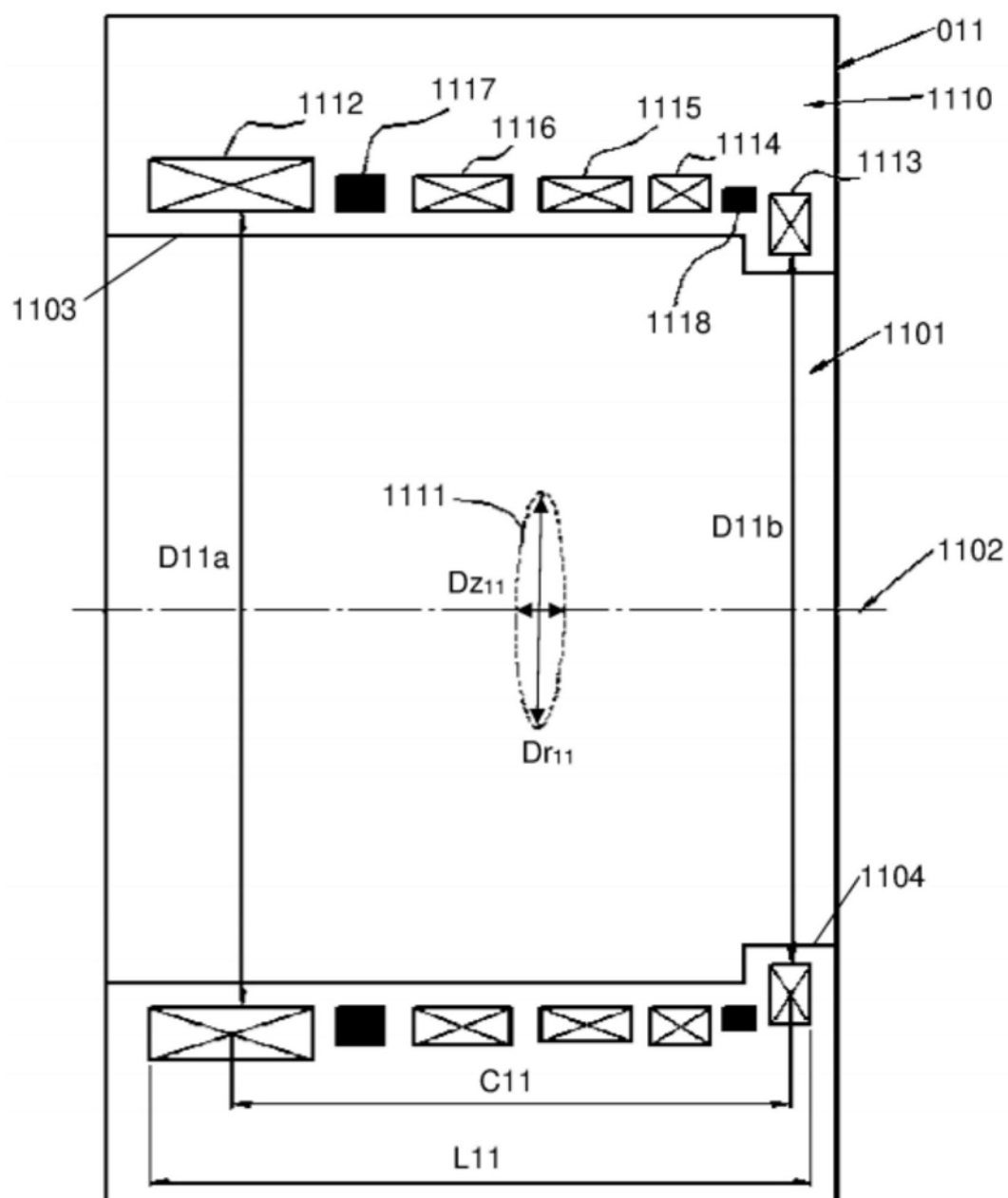


图11