

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G21F 5/00

H05K 9/00



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 98809506.8

[45] 授权公告日 2004 年 1 月 7 日

[11] 授权公告号 CN 1134024C

[22] 申请日 1998.9.24 [21] 申请号 98809506.8
[30] 优先权
[32] 1997.9.26 [33] DE [31] 19742548.8
[86] 国际申请 PCT/EP98/06056 1998.9.24
[87] 国际公布 WO99/17304 英 1999.4.8
[85] 进入国家阶段日期 2000.3.24
[71] 专利权人 赫利斯平波拉里西尔特加斯有限责任公司
地址 德国美因茨
[72] 发明人 埃尔克·艾达姆 迈克尔·埃博特
蒂诺·格罗斯曼 沃纳·海尔
厄恩斯特-威廉·奥滕 丹尼拉·罗
莱因哈德·瑟考
审查员 杜江峰

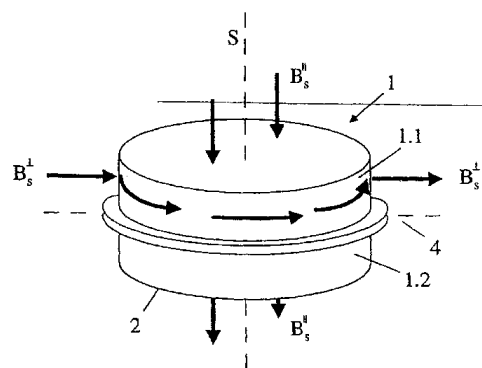
[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
代理人 李晓舒

权利要求书 4 页 说明书 13 页 附图 6 页

[54] 发明名称 磁屏蔽容器和气体储存小室以及小室的取出方法

[57] 摘要

本发明提供一种受到磁屏蔽的容器(1), 具有设置在其一轴(S)平行对置位置上的两个磁场均匀化极靴(10.1, 10.2), 具有围绕所述两极靴的一磁蔽轭件(2), 所述两极靴和轭件封围一磁腔(26), 所述容器还包括围绕所述轴线设置并沿径向与之离开的各磁场源(2.4, 2.5), 从而在所述磁腔之内存在着取向在所述轴线方向上的基本上均匀的磁场 B_0 并从而在所述磁腔之内存在一可用的容积, 其中在横交于所述轴线的方向上的磁场对于所述磁场 B_0 的比值具有一不大于 $1.5 \times 10^{-3}/\text{cm}$ 的数值。由于采用这一结构所能达到的重量对容积的比值很低, 符合本发明的容器生产成本低并特别适于运送极化气体。



1. 一种受到磁屏蔽的容器(1), 具有设置在其一轴线(S)上平行对置位置上的两个磁场均匀化极靴(10.1, 10.2), 具有围绕所述两极靴的一磁屏蔽轭件
5 (2), 所述两极靴和轭件封围一磁腔(26), 所述容器还包括围绕所述轴线设置并沿径向与之离开的各磁场源(2.4, 2.5), 从而在所述磁腔之内存在着取向在所述轴线方向上的基本上均匀的磁场 B_0 , 并从而在所述磁腔之内存在一可用的容积, 其中在横交于所述轴线的方向上的磁场梯度对于所述磁场 B_0 的比值具有一不大于 $1.5 \times 10^{-3}/\text{cm}$ 的数值; 所述两极靴(10.1, 10.2)由各磁阻元件(16)支承; 还包括一气体储存小室(20), 设置在所述磁腔(26)之中所述可用容积之中; 所述小室(20)配有一阀门(22), 以允许装入并取出气体。
10

2. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述比值具有一不大于 $7 \times 10^{-4}/\text{cm}$ 的数值。

3. 按照或是权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述可用容积对于所述
15 磁腔(26)的容积之比值大于 1:30。

4. 按照或是权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述可用容积对于所述磁腔(26)的容积之比值大于 1:5。

5. 按照或是权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述可用容积对于所述磁腔(26)的容积之比值大于 1:2。

20 6. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述可用容积至少是 50ml。

7. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述可用容积至少是 100ml。

8. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述可用容积至少是 200-2000ml。

9. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述两极靴(10.1, 10.2)是由
25 μ -金属或软铁制成的。

10. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述轭件(2)是由一种在磁场强度低于 1T 下不磁饱和的材料制成的。

11. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述轭件(2)是由一种在磁场强度低于 2T 下不磁饱和的材料制成的。

30 12. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述各磁场源(2.5)围绕每一所述极靴(10.1, 10.2)的周边设置。

13. 按照权利要求 12 所述的一种容器, 其中所述各磁场源设置在所述
轭件侧壁(2.2)与各端壁(2.1.1, 2.1.2)之间。
14. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述磁场源(2.4)在所述两极
靴(10.1, 10.2)之间的一平面(4)上围绕所述轴线(S)设置。
- 5 15. 按照权利要求 14 所述的一种容器, 其中所述各磁场源(2.4)设置在
所述轭件(2)的两段(2.3.1)之间。
16. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中一组磁场源(2.5)围绕每一所
述极靴(10.1, 10.2)的周边设置, 而另一组磁场源(2.4)在所述两极靴(10.1, 10.2)
之间的一平面(4)上围绕所述轴线(S)设置。
- 10 17. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 还包括一磁屏(40)在所述轭件(2)
之内围绕所述轴线(S)设置。
18. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 还包括至少一个垫片, 在所述轭
件(2)之内围绕所述轴线(S)设置。
19. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 对于它, 容器(1)总重量与磁腔(26)
15 容积之间的比值绝不大于 1kg/l。
20. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 对于它, 容器(1)总重量与磁腔(26)
容积之间的比值绝不大于 0.2kg/l。
21. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 对于它, 容器(1)总重量与磁腔(26)
容积之间的比值绝不大于 1/30 kg/l。
- 20 22. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 是可开启的和可密封关闭的。
23. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述两极靴(10.1, 10.2)是圆
形的, 而所述轭件(2)基本上是圆筒形的。
24. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述各元件(16)是由刚性多
孔塑料制成的。
- 25 25. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中至少所述小室的各内壁是由
一种基本上不带顺磁物质的材料制成的。
26. 按照权利要求 25 所述的一种容器, 其中所述材料是一种铁浓度很
低的玻璃。
27. 按照权利要求 26 所述的一种容器, 其中所述玻璃具有一小于
30 20ppm 的铁浓度。
28. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述小室(20)的各壁部是不

加涂敷的。

29. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述储存小室(20)的壁部是由一种低铁含量玻璃制成的, 铁含量足够低, 以致核自旋极化的 ^3He 与壁部相关的去极化松弛时间 T_1^w 与所述小室的容积/内表面面积之间的比值至少是 10h/cm(hours/cm)。

30. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述小室(20)盛放核自旋极化气体。

31. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述气体是 ^3He 或 ^{129}Xe 或含有 ^{19}F 、 ^{13}C 或 ^{31}P 。

32. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述小室(20)具有一至少 50ml 的内部容积。

33. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 其中所述小室(20)具有一至少在 100ml 与 20l 之间的内部容积。

34. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 为可运送的形式。

35. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 还包括一磁场传感器(32), 设置在所述磁腔(26)之内。

36. 按照权利要求 35 所述的一种容器, 还包括相对于一设置在所述磁腔(26)之中的气体储存小室(20)移动所述传感器(32)的装置。

37. 按照权利要求 35 所述的一种容器, 还包括一用于设置在所述磁腔(26)之中的一随时间变化的磁场的场源(30)。

38. 按照前述各项权利要求中任何一项所述的一种容器, 还包括一种间隔器(12, 205), 设置得以便把所述两极靴(10.1, 10.2)保持在平行对置的关系之中。

39. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 具有一双壳式(200.1, 200.2)结构, 从而所述轭件(2)至少部分是由内壳(200.2)形成的。

40. 按照权利要求 1 所述的一种容器, 状为一带有一内部空间的磁性装置(1), 此空间在其内部形成一大容积、主要是均匀的、受到屏蔽的磁场, 从而磁性装置(1)的特征在于各均匀化 μ -金属板件作为极靴(10.1, 10.2), 其中在内有一均匀磁场的磁性装置可用容积与磁性装置总容积之间可以达到一 1:1.5 的比值, 而在可用容积之内实现了均匀性条件

$$\text{Gr} \leq 1.5 \times 10^{-3}/\text{cm},$$

于此 G_r 是横向磁场相对梯度。

41. 一种气体储存小室(20)，在一由一小室壁部围绕的一气体储存空间中盛放一种核自旋极化气体，壁部是由一种不加涂敷的材料制成的，在接触所述气体储存空间的表面上，此材料基本上不带顺磁物质。

- 5 42. 按照权利要求 41 所述的一种小室，其中所述壁部是由一种低铁含量玻璃制成的，铁含量足够低，以致核自旋极化的 ^3He 之与壁部相关的去极化松弛时间 T_1^w ，与所述小室的容积/内表面面积之间的比值至少是 10h/cm(hours/cm)。

- 10 43. 一种方法，用于从权利要求 1 至 34 中任何一项所述的一种容器中的一气体储存小室(20)中取出一种核自旋极化气体，包括：

- (i) 定位所述容器，使所述轴线(S)平行于一基本上均匀的外部磁场；
- (ii) 通过卸掉包括所述两极靴之一(10.1)的一部分而开启所述容器；以及
- (iii) 在所述轴线方向上取去所述小室(20)。

磁屏蔽容器和气体储存小室以及小室的取出方法

5 技术领域

本发明涉及一种受到磁屏蔽的容器，比如可用作一种自旋极化气体的运送装置，并涉及一种用于其中的储存小室。

背景技术

- 10 核自旋极化气体，特别是贵重气体，诸如质量数为 3 的氦同位素(^3He)或质量数为 129 的氙同位素(^{129}Xe)以及含有氟、碳或磷同位素 ^{19}F 、 ^{13}C 或 ^{31}P 都为基础物理研究中的大量实验所需要。在医药领域中，这些同位素特别被考虑用于比如肺脏的核磁共振成像之中。(比如请见 WO 97/37239, WO 95/27438, Bachert 等人, Mag Res Med 36:192-196(1996)和 Ebert 等人, The Lancet 347:1297-1299(1996))。使用这种自旋极化气体在核磁共振成像之中的前提是，核的自旋 I 的极化 P 的程度，或者相关的磁双极矩 μ_I ，比通常在核磁共振成像设备的磁场 B_T 中的热平衡中所达到的要大 4-5 个量级。这一正常极化程度， $P_{\text{Boltzmann}}$ ，取决于磁双极能量 $-\mu_I B_T$ 和平均热能 kT ：

$$P_{\text{Boltzmann}} = \tanh(\mu_I B_T / kT) \quad (1)$$

- 20 (其中 k = Boltzmann 常数，而 T = 绝对温度)。在 $P_{\text{Boltzmann}} \ll 1$ 处，则趋近于 $\mu_I B_T / kT$ 。

- 虽然用在人体组织磁共振成像之中的氢同位素 ^1H 在 $B_T = 1.5 \text{ T}$ 和 $T = 300\text{K}$ 的情况下只达到 $P_{\text{Boltzmann}}$ 为 5×10^{-6} ，而在气体磁共振成像中要求 $P \geq 1 \times 10^{-2}$ ，即 1%。要求 P 如此极为增大主要是由于，与人体组织中氢的浓度相比，气体原子中的浓度较低。具有如此极化程度的气体(通常称作超极化气体)可借助于多种已知的方法，最好是光学泵送方法，予以生产。

- 25 此外，对于气体磁共振成像来说，需要较大数量的气体，比如一次呼吸的容积(0.5 到 1l)。

- 特别高的极化程度，比如 $> 30\%$ ，与高生产速度，比如 0.5l/h 相结合，
30 可以通过压缩一种光学泵送的气体来获得。这一过程叙述在以下各出版物之中，其内容在此引入作为参考：

- Eckert 等人: “物理学研究中的核仪器和方法” A320:53-65(1992);
- Becker 等人: “中子研究” 5; 1-10(1996);
- Surkau 等人: “物理学研究中的核仪器和方法” A384:444-450(1997);
- Heil 等人: “物理学通信” A201: 337-343(1995)。

5 不过, 超极化气体的生产和使用不是必需在同一地点, 因而发生了把比如利用上述方法生产的极化气体运送给顾客的问题, 比如为肺脏用在一核磁共振成像设备之中。

 先前, 没有可供使用的、为这样一种自旋极化气体的一很大储存容积提供足够均匀存储磁场的可运送磁性装置。其次, 核自旋在小室壁部上非常迅速地去极化, 以致极化的气体只能在保持必需的极化程度的同时被储
10 存较短的时间。

发明内容

 本发明提出的课题是, 提供一种磁性装置, 能够为一足够大储存容积
15 的超极化气体形成一可运送的均匀存储磁场。

 从一方面看, 本发明因而提供一种受到磁屏蔽的容器, 具有设置在其一轴线上平行对置位置上的两个磁场均匀化极靴, 具有围绕所述两极靴设置的一磁屏蔽轭件, 所述两极靴和轭件封围一磁腔, 所述容器还包括围绕
20 所述轴线设置并沿径向与之离开的各磁场源, 从而在所述磁腔之内存在着取向在所述轴线方向上的基本上均匀的磁场 B_0 并从而在所述磁腔之内存在一可用的容积, 其中在横交于所述轴线的方向上的磁场对于所述磁场 B_0 的比值具有一绝不大于 $1.5 \times 10^{-3}/\text{cm}$ 的数值。

 这样一种容器可以设计成重量小、结构简单, 以及制作便宜和使用经济。其次, 采用这种容器时, 被运送的核物质可以尽可能地即使在外部漏
25 磁磁场中也保持其取向, 亦即, 去极化松弛时间可以尽可能地长, 以便防止气体核自旋的杂乱取向。

 本发明的容器, 适合于盛放和运送自旋极化原子, 特别是极化的 ^3He 和 ^{129}Xe , 最好是配有磁场均匀化的、高度导磁的和软磁性的平板, 比如由 μ -金属或软铁制成的平板, 作为两极靴, 并且结构设计得致使在其中提供
30 足够均匀磁场的有用容积与总容积之间可以达到一很大的比值, 比如一至少具有 1:30 的比值。不过, 这一比值最好是至少 1:5, 更为可取的是 1:3,

而特别有利的是 1:2-1:1.5 的比值可以达到。由此,对于磁场 B_0 的相对横向梯度 Gr ,一数值

$$Gr = ((\delta Br / \delta r) / B_0) \leq 1.5 \times 10^{-3} / \text{cm} \quad (2)$$

用作可用容积之内的一种均匀性条件。这一要求出自依赖于梯度的松驰时间 T_{IG} ,在高压下,诸如本发明所涉及的那些压力,此时间 T_{IG} 与 Gr 和气压 P 的关系如下:

$$T_{IG} = P / Gr^2 \times (1.75 \times 10^4 \text{cm}^2 \text{bar/h})^{-1} \quad (3)$$

(请见 Scherer 等人, Phys Rey 139:1398(1965))

按照方程(3),在 $Gr < 1.3 \times 10^{-3} / \text{cm}$ 和 $P = 3 \text{bar}$ 的情况下,获得一依赖于梯度的松驰时间 $T_{IG} > 76 \text{h}$ 。

在较低压力下,

$T_{IG} = P / Gr^2 \times (1.8 \times 10^3 \text{cm}^2 \text{bar/h})^{-1}$ (请见 Barbe, Journal de Physique 35:699 和 937(1974))。

在把一极化汽体储存小室送进本发明的容器期间, Gr 一般将小于 $0.02 \times 10^{-3} / \text{cm}$ 。这样, ^3He 在 3bar 下每 30S 只损失 2% 的极化。

在符合本发明的容器之内, Gr 最好是不超过 $1.3 \times 10^{-3} / \text{cm}$, 更为可取地不超过 $7 \times 10^{-4} / \text{cm}$ 。在一气体储存小室半径为 8cm 的情况下, $\leq 1.3 \times 10^{-3} / \text{cm}$ 的 Gr 对应于 $\geq 127 \text{h}$ 的 T_{IG} , 而在一气体储存小室半径为 2cm 的情况下, $\leq 7 \times 10^{-4} / \text{cm}$ 的 Gr 对应于 $\geq 350 \text{h}$ 的 T_{IG} 。

为了补偿容器内部空间各边缘区域中的磁场畸变并因而提高磁场 B_0 的均匀性,容器特有一些磁场源,配置的方式可使容器内部空间各边缘区域中的磁场畸变为最小而在容器内部的磁场大部是均匀的。

为了在核自旋的极化一旦获得后予以保持,只要求一较弱的均匀磁场,最好是显示出的磁场强度小于 5mT,更为可取的是小于 1mT,尤其是多在 0.2 至 0.9mT 的范围之内。在这样一种弱磁场之中,可以借助于测量仪器来达到极化程度的连续品质控制,以确保特定的可靠性。因而在一项优先实施例中,一磁场传感器(比如基于 Foerster 原理的一种)设置在本发明的容器之内,以及允许测定由超极化气体所生成的磁场 B_d 。

虽然借助于铁磁材料生成严格的均匀磁场预先集中在 T(特斯拉)范围之内的高场强上,本发明的容器的基本原则是有意着重在最为有效和实际地实现一种大为均匀的弱磁场上,比如采用铁磁材料。

一种高度均匀性可以在弱磁场范围内获得，如果：比如作为均匀化铁磁元件，两个薄的软铁，或更为可取地 μ -金属平板被用作两个极靴。这样两个极靴，由于其极高的导磁性和低剩磁，会在介入空间即磁腔之内造成一个非常均匀的磁场。

- 5 在一特别优先的实施例 中，这些极靴的均匀化效应可以通过在两极靴与轭件之间装入各磁阻而予以增大。一种用作一这类磁阻的一种最佳材料是一刚性的非磁性层，比如状为一平板，比如由塑料制成，配装在极靴与轭件之间。如果这样的一平板，或者为了节省重量，最好是一种多孔的比如蜂窝结构，也粘合于极靴，这样可保证其平整度而使两极靴平行和磁场
- 10 B_0 均匀。

- 为了以可能最简单的方式满足上述的均匀性条件，同时为了形成一较大的储存容积，已经证实，特别可取的是，本发明的容器设计成一种釜式磁铁形式。这类磁性装置基本上由一封闭的釜器组成，在一种示范性结构形式中，它可以具有-30-60cm 的直径，连同-10-30cm 的总高度。容器设计
- 15 成一釜式磁铁形式的具体优点在于这一筒状结构的高度对称性。在这类的一釜式磁铁中各场源的具体最佳配置可以认为具有两种可能：

 - 设置比如状为市场上有售的各永久磁板的各场源在一釜器中面或反射面上的间隙之中；以及

 - 设置各场源在釜器各端板的外部平面上。

- 20 通过在这两种配置之间适当地分配各场源，一方面设置一些场源在中面上，另一方面设置一些场源在釜器各端板的外部表面上，有可能校正釜式磁铁内侧磁场的各种边界差误并因而在一径向上的一宽广范围内满足均匀性条件。一种最佳分配是这样的，即当各场源配置在釜式磁铁反射或中面上时所发生的边界磁场的增强正好由当各场源设置在釜器各端板时所发
- 25 生的边界磁场的减弱予以补偿。

 如果需要，各磁场源可以安放在本发明容器中别的地方，以便达到所使用的磁场 B_0 均匀化方面的改进。因而比如这种场源可以安放在连同两极靴的、靠近它们的和它们正中间的各平面在内的，垂直于 B_0 的另外一些平面上。

- 30 一种特别均匀的边界场也可获得，如果：一磁屏，比如一软铁或 μ -金属圆环，配装在釜器与极靴的边缘之间，以致一外部漏磁磁场被部分短路，

而且在各场源配置在釜式磁铁中面上的地方,边界场的数值通过适当地定出磁屏尺寸而减小到在釜式磁铁中心处中心场的数值。

有利的是,特别是在符合本发明的非圆筒形(比如六角筒形)容器的情况下,一些垫片(比如设置到两极靴上的边角垫片)可以用以提高磁腔之内的磁场均匀性。最好是磁腔也具有高度的方位对称性。

两种优先结构形式可以用作磁场源。在一第一结构形式中,可以采用各永久磁铁,最好是市场上有售的各种小圆片,比如具有 5mm 的高度和 20mm 的直径。在另一结构形式中,这些永久磁铁被代之以尺寸适当的一些磁场线圈。这些磁场线圈具有的优点是,所需的各磁场可以借助于一适当选定的电流流动予以调节。不过,第二种结构形式的一项缺点是,一额外的电流源必须随容器安装,此时后者被用作一运送装置而不是简单地作为一储存装置。

容器最好是采用由某种材料制成的一軛件来制作,此种材料在 1T(更为可取的, 2T)的磁场下是不磁饱和的,比如一种软铁。容器各尺寸最好是这样的,即有用容积(其内可以设置气体储存小室)至少是 50ml,更为可取地是 100ml,尤其可取地是 200ml 到大于 1m³,比如高达 20l,更为具体地是 200-2000ml。所采用的材料可以提供一不大于 1kg/l 的容器总重量对于磁腔体积的比值,更为可取地是 0.2kg/l,尤其可取地是 1/30 kg/l。气体储存小室,可以设置在容器之中比如用于储存或运送,最好是具有一至少是 50ml 比如 100ml 到 1m³ 的内部容积,具体地 100ml 到 20l,更为具体地 200ml 到 2l。这一小室可以配置一个阀门,用于实现气体的装入和取出;另外,它可以是一种单一用途的小室,比如配有一可密封的部分和一可破碎的部分(可以是密封后的可密封部分)。

在一项实施例中,本发明的容器可以采取一种磁性装置的形式,带有一内部空间,在其内部形成一大容积的、主要是均匀的、受屏蔽的磁场,从而此磁性装置特有各均匀化 μ -金属平板作为极靴,其特征在于,在磁性装置的其中具有一均匀磁场的可用容积与磁性装置的总容积之间可以达到一 1:1.5 的比值,以及均匀性条件

$$Gr \leq 1.5 \times 10^{-3}/\text{cm}$$

在可用容积之内得以满足,式中 Gr 是相对横向磁场梯度。

从另一方面来看,本发明还提供一种气体储存小室,在一由小室壁部

围绕的一气体储存空间中盛放一种核自旋极化气体，此壁部由一种未作涂敷的材料制成，在接触所述气体储存空间的表面上基本上没有顺磁物质。气体可以比如是 ^3He 或 ^{129}Xe ，尤其是 ^3He 。采用一种基本上没有顺磁物质的小室壁部使极化 ^3He 可能显示出至少 24h 的与壁部有关的去极化松驰时间 T_1^w 。特别可取的是，与壁部相关的去极化松驰时间大于 50h。这种很长的去极化松驰时间是可以达到的，如果：用作小室壁部材料的是一种包含低比例的顺磁原子或分子的材料，从而在一特别可取的结构形式中采用具有很低铁浓度，最好是低于 20ppm 的玻璃，同时，这种玻璃还可以以如下方式构成，即它们，比如硅酸铝玻璃一类的 Supremex 玻璃(由 Scnott, Mainz, DE 制造)，是抵制氦的一种有效的弥散屏障。与先前已知的、由 Heil 等人在“物理学通信” A201:337-343(1995)之中所说明的各种储存小室相比，采用符合本发明的储存小室可以达到很长的与壁部有关的去极化松驰时间而不需要复杂的壁部金属涂层。

如上所指出，本发明的容器可采取一用于自旋极化气体的运送装置的形式，特别是 ^3He 和 ^{129}Xe 或含有 ^{19}F 、 ^{13}C 或 ^{31}P 的气体，比如通过极化转变已经被自旋极化的气体。在储存小室设置所在的容器内部空间中的区域之内，此磁性装置的磁场可以是如此均匀，以致由一符合方程(3)的横向磁场梯度造成的去极化松驰时间 T_1^g 大于 125h，尤其是大于 200h，更为具体地大于 300h，最好大于 500h，特别可取地大于 750h，而由于核极化气体对储存小室壁部的冲击，与壁部有关的去极化松驰时间 T_1^w 大于 5h，最好是大于 20h。

更为可取的是，由储存小室内部表面对容积的比值所归一化的 T_1^w 最好是最小 10h/cm。

不过，去极化损失不仅发生在气体的运送期间，由于外部漏磁磁场和磁场最终非均匀性的影响，或者由于原子与壁部之间的碰撞，但是，特别是，也在气体从运送容器中取出的时候。

从另外又一方面来看，本发明因此提供一种方法用于从一容器的一气体储存小室中取出一种核自旋极化气体，此方法包括：

- (i) 定位所述容器，使所述轴线平行于一基本上均匀的外部磁场；
- (ii) 通过卸掉包括所述两极靴之一的一部分而开启所述容器；以及
- (iii) 在所述轴线方向上取出所述小室。

这种去极化损失，如果按照本方法去取极化气体，可以达到最小限度。

在此方法中，容器，比如状为一釜式磁铁，安装得以其轴线和均匀内部磁场的取向平行于一适当的外部均匀磁场，后者可以比如借助于一Holmholz 线圈或一核磁共振成像设备的漏磁磁场来获得。在一轴线方向上
5 面对均匀磁场的釜式磁铁的一半然后被提升，留下的一半则通过比如由 μ -金属制成的其极靴的磁性等势表面而保证在气体小室区域内的磁场充分均匀性。充满极化气体的储存小室从磁铁中取出可以在几秒钟之内在一轴线方向上进行。

10 附图说明

本发明的各项实施例将参照各附图通过非限制性的各范例予以说明，各附图中：

图 1：表明本发明的容器的一外部透视图；

图 2：表明通过符合本发明的一容器的一截面，此容器为釜式磁铁形式
15 并装有设置在其内部之中的一储存小室用于各种自旋极化气体；

图 3a-d：表明边界磁场补偿的多种配置；

图 4：表明符合本发明的容器的另一变体；

图 5a：表明各磁场源不同配置的一釜式磁铁的径向 R 上相对径向梯度 Gr 值的曲线；

20 图 5b：表明图 5a 的曲线，为强调起见，修改了比例；

图 6：表明在一由低铁含量玻璃制成的储存小室中 ^3He 极化的松驰，由此，小室的容积比如是 350 cm^3 和气体压力是 2.5bar；

图 7a-b：演示从一安放在一外部磁场之内、符合本发明的容器中取出一储存小室的情况；

25 图 8：表明符合本发明的容器的另一变体，具有非圆柱体对称性。

具体实施方式

参见图 1，它表明一符合本发明的容器 1 的一外部透视图，在此情况下设计为一两部分圆筒形釜式磁铁，带有一上段 1.1 和一下段 1.2。同样表明
30 此釜式磁铁的旋转对称轴线 S 和各外部磁场，比如地球磁场的磁场线。尤其清楚地表明了一外部磁场或漏磁场 B_s^I ，它并不穿进釜式磁铁的内部，而

是由于轭件 2-最好是由软铁材料制成的具稍许磁阻，围绕内部空间传导。漏磁场 B_s^H 垂直于轭件的各端板并由设置在轭件 2 内侧的各 μ 软铁极靴予以均匀化。

图 2 表明通过一如图示所示、用于各自旋极化气体，尤其是 ^3He , ^{129}Xe 的容器的一轴向截面，包括符合本发明的容器和一设置在其里面、用于自旋极化气体的储存小室，其特征在于极长的壁部去极化松弛时间。

釜式磁铁 1 包括一圆筒形轭件 2，最好是由软铁制成，用于返回磁通和用于摒除各外部磁场。圆筒形轭件 2 本身又以两个轭件端板为特色，构成一中心段。在图示的结构形式中，两个轭端板采取两个圆盘 2.1.1 和 2.1.2 的形式。围绕各轭件端板的边缘配置封闭的围板 2.2 和 2.3，以构成一轭件外罩。这些示于图 2 左右两半中的两个结构形式中的围板是不同的。各围板 2.2 和 2.3 既配置在上部圆盘 2.1.1 上，也配置在下部圆盘 2.1.2 上，造成釜式磁铁的一上段和一下段，它们在示于左边的第一结构形式中接合在磁性装置中面上各伸出的直角周边凸缘 2.2.1 处。在示于右边的第二结构形式中，各周边凸缘 2.3.1 以如下方式间隔开来，即一用于卡持场源，比如各永久磁铁的孔口制成在釜式磁铁的中面 4 上。在釜式磁铁上部与下部周边凸缘之间的中间，由于场源比如各永久磁铁的设置而产生的场线。用 6 来标识。在示于左边的第一结构形式中，轭件外罩 2.2 两半的高度超过两轭件端板 2.1.1 与 2.1.2 之间的距离。有可能把场源设置在外罩与端板之间间隙之中的外表面 2.5 上。由于如此配置而产生的、在边界区域中的场线用数字 8 来标识。

对置的两个极靴 10.1 和 10.2 可对釜式磁铁内部之内的均匀磁场作出响应。在此范例中，两极靴基本上设计成均匀化 μ -金属板件。 μ -金属是一种材料，相对于外部的漏磁磁场 B_s^H 具有一很高的均匀化作用并以很低的剩磁为特征。

在此范例中，使用了由汉诺威 (Hanau) 邮政信箱 2253，63412 Vacuumsmeltze 所制作的 μ -金属 A，具有以下各磁性特征量：

静矫顽力：	$H_c \leq 30\text{mA/cm}$
导磁率：	$\mu_{(4)} \geq 30,000$
最大导磁率：	$\mu_{(\text{max})} \geq 70,000$
饱和磁感应：	$B_2 \geq 0.65\text{T}$

(这一点不应当解释为意指只有这种材料才能用于本发明)。遍及整个两极靴，两靴之间的距离，以及两极靴的平行取向，可以通过设置各间隔件或间隔环，比如总共三个(或更多)间隔器 12，来予以确保，其中只有一个画出图 2 之中。

- 5 在此图中，用参照编号 14 来标识由 μ -金属制成的两极靴 10.1 与 10.2 之间的最终均匀磁场。一如从图 1 中的描述中可以看出，一特别均匀的磁场，与各外部场无关，由于 μ -金属的均匀化作用而在釜式磁铁内侧获得，同时，在各边缘区域中，取决于各场源的配置，出现一种不同的场型 6 或 8。如果各场源唯独配置在中面 4 之内，如所示釜式磁铁 1 的右边边缘区域，
10 则相当一部分磁通由于低磁阻而从外罩逸出，而且从边沿起作用，以某一放大效应影响两极靴之间的场。因此，此场在强度上朝着边沿而显著增大，其结果是，所希望的均匀性即使在两极靴隔开一较短距离的地方也受到损害。在各永久磁铁设置在釜件各端板上的外部表面上的地方，如图 2 所示磁铁的左半，在两极靴 10.1 与 10.2 之间观察到场的显著边缘减退，如场线
15 8 所示，因为外罩，一直达到两极靴处，吸收并弱化了边界场。

- 由于用作极靴 10.1,10.2 的 μ -金属板的极高的导磁性而在中部空间产生的非常均匀的场 14 可以通过在极靴 10.1,10.2 之间和轭件 2.1.1 和 2.1.2 之间磁阻 16 的引入而更为均匀。一刚硬的非磁性板件，比如一塑料板件 16，或者为了节省重量，最好是一蜂窝构件，最好是用于此等目的。板件可以
20 粘合于两极靴 10.1 和 10.2，因而保证两极靴 10.1 和 10.2 的平整性。

- 用于盛放极化气体的储存小室 20 位于两极靴 10.1 与 10.2 之间，釜式磁铁 1 的中心中段之内。容器 20 最好是由无铁玻璃制成并具有比如一小于 20ppm 的铁浓度，而且还可设计得以致它还可形成一抵制氦的有效弥散屏障。这一措施允许与壁部有关的松驰时间达到 70h 以上。各储存小室 20 在
25 使用之前可以泵空，并且比如象高真空技术之中通常那样，一直加热到它们的各剩余水层失去为止。这一措施在本发明中是有利的，但绝非必要。各储存小室比如可用一玻璃管塞 22 予以密封并经由一玻璃法兰 24 连接于极化气体的充灌装置。

- 此外，为了确定极化程度，一高频线圈 30(可以用于使储存小室 20 处
30 在一随时间变化的磁场作用之下)和一检测装置(比如一磁场传感器)32 以及一用于彼此相对移动传感器和储存小室的装置可以予以配装。不过，这些

另外的装置都是可供选择的，并且对于符合本发明的一种运送装置来说，绝非必不可少的。

其次，需要时，容器可以装有冷却装置来冷却气体储存小室的各种成分。

- 5 本发明的决定性特点是，一磁场形成在容器之内，在很大的容积上是均匀的，以致相对于磁性装置的总容积，获得了一高度可用的容积，从而磁性装置内部之中的均匀磁场基本上不受各外部磁场的影响。一方面，可以使用的、 $B_0 < 1\text{mT}$ 的低磁场强度允许很轻结构的轭件和采用软铁薄板的两极靴。另一方面，希望的是，各极靴显示特别低的剩磁，以致因此这些
- 10 极靴都最好是由 μ -金属制成，以便满足均匀性要求(2)。

- 就能够确定极化程度而论，如果在磁铁内部之中的均匀控制场是一弱磁场，场强小于 1.0mT ，则是有利的，由于由气体自旋极化造成的各磁场，处在 nT 至 μT 范围之内，随后仍然可以借助于简单检测装置 32 以足够的精度予以测定，并在此基础上极化程度得以确定。如果比如被发送的气体的
- 15 质量必须在一医学应用之前加以测试，这一点则是有利的。

图 3 表明借助于各场源或是单独或是结合一磁屏的不同配置所达到的边缘区域之内的场分布，这保证了在边缘区域之内的一种足够均匀的场分布。

- 图 3a 表明一种配置，其中各永久磁铁安放在釜体各端板 2.1.1 和 2.1.2
- 20 上的间隙 2.4 内侧和间隙 2.5 内侧。通过在配置在中心 4 处和配置在釜体两端板 2.1.1 和 2.1.2 上之间适当地分配各永久磁铁 2.4 的配置，由于设置各永久磁铁在釜体各端板之间的中心处而造成的边界场 6 强度方面的增大，如图
- 所示，正好被配置在釜体各端板上的各永久磁铁边界场 δ 强度方面的减小而予以补偿。如果各个永久磁铁具有相等的磁场强度，对于示于图中的
- 25 釜体高宽比，可以获得各永久磁铁的一种最佳分布，如果各磁铁以一数量比 6: 8 予以分布，则由此，第一图表示配置在中面 4 上的各磁铁数量，而第二图表示配置在釜体两端板上的各磁铁数量。

- 图 3b 表明借助于一磁屏 40 对于一采用配置在中面 4 上的各永久磁铁的边界场之可能的均匀化处理。这类的一磁屏是比如由一软铁圆环构成的，
- 30 后者被装入釜体与极靴的边缘之间，而此边缘象围板 2.2 和 2.3 那样，环绕磁屏。这样一个软铁圆环会使漏磁外部磁场部分短路，而且如果适当地空

出尺寸，会把边界场降低到中心场的数值。

图 3c 和 3d 表明补偿装置，可与图 3a 和 3b 所示的相比，此时，在此范例中，正中配置在釜体中面 4 的区域之内或在釜体两端附近的磁性线圈 50 和 52 用作场源以代替各永久磁铁。

- 5 图 3c 表明通过配置在中面之内的各场源对于配置在釜体各端板附近的各场源的某一适当比值而达到的补偿，而图 3d 表明借助于一磁屏 40 的补偿。

本发明的另一结构形式示于图 4。为了减小重量，轭件外罩是以双壁结构用很薄的围板 200.1 与 200.2 和 202.1 与 202.2 制成的。围板 200.1 与 200.2 和 202.1 与 202.2 采用各间隔环 207 配置在彼此离开一固定距离处，以致达到釜式磁铁内部的一种双重屏蔽。这些围板可以显著地薄于图 1 中所示的一单壁结构形式，但都表现出同样的经由各屏蔽圆环把各磁通传导出外的能力。各围板经由一螺钉拧上的连接装置 204 或 206 连接于釜式磁铁的上部或下部 μ -金属板件。两极靴 10.1 和 10.2 借助于各间隔件或一种间隔环 205 间隔开来，后者截面可以是圆的或多边形比如六边形的。均匀的磁场基本上形成在两极靴之间的内部 208 之中。如图 3a 之中，配装在釜式磁铁上与下段之间和外罩与端板之间的间隙 2.4 之中的各永久磁铁 210，用作一在边缘区域之中也是均匀的磁场的各场源。

图 5a 和 5b 表明相对径向梯度 $Gr = ((\delta Br / \delta r) / B_0)$ 数量的曲线，是对于符合本发明的釜式磁铁之中或之上各永久磁铁的不同配置，在一径向 r 上釜式磁铁反射面 4 以上 1.5cm 处测定的。标以“a”的曲线表明当各永久磁铁只是配置在中面 4 上间隙之中时，如图 2 右半中所示，所产生的曲线，而标以“b”的曲线表明当各永久磁铁设置在釜体各端板上外部表面上时，如图 2 左侧上所示，所产生的曲线。以“c”标识的曲线表明如果各永久磁铁按照图 3a 在被设置在外部表面上与被设置在中面上的间隙之中这二者之间作出分配时所产生的径向梯度曲线。在示于图 3c 中的曲线中，各磁铁之间的数量比是 6:8，即 6 个磁铁配置在中心处，而 8 个在各端板上。在此情况下，按照两极靴之间的一 18cm 的间隙和一 40cm 的极靴直径，由虚线带区 400 所表示的均匀性界限达到一 $Gr = 1.5 \times 10^{-3}$ 的数值， r 大约是 13cm，更为可取的是 12cm。这一界限 400 表现在釜式磁铁的整个高度上，以致一可用的大于 6l 的，比如大于 8l 的运送容积形成在釜式磁铁之内，其中满足了

均匀性条件 $Gr \leq 1.5 \times 10^{-3}/\text{cm}$ 。

图 6 表明在一具有低铁含量的玻璃制储存小室之中 ^3He 极化松驰的一测定记录。储存小室的容积是 350 cm^3 ，气体压力是 2.5bar。可从此图看出，一大于 70h 的松驰时间通过使用这种储杯得以测出，从而在从事这一测定
5 的各种条件下，可以忽略依赖于梯度的松驰时间。如果把这样一个具有低铁含量的玻璃构成的容器放进釜式磁铁均匀化以后的磁场区域之中，可获得 64h 的最终松驰时间 $T_{\text{res}} = (1/T_1^g + 1/T_1^w)^{-1}$ ，依据的是，一依赖于梯度的松驰时间 $T_1^g = 750\text{h}$ 和一有关于壁部的松驰时间 $T_1^w = 70\text{h}$ 。

本发明的方法，用于取出在一外部磁场附近，一符合本发明的运送装置
10 的一储存小室 20 之中所储存的某一气体，比如一磁共振成像设备的漏磁场 B_{TS} 附近，表明在图 7a 和 b 之中。如果储存小室有待放进核磁共振成像设备的磁场 B_T ，比如用于某一医疗用途，而不使之涉及显著的去极化，则本发明提出，如图 7a 中所示，符合本发明的运送装置应当安排得以其磁场 B_0 平行于外部磁场 B_{TS} 并与之在同一方向上，如图所示。面对磁共振成
15 像设备的运送装置的上部与极靴 10.1 一起随后在由箭头 302 所指方向上被提出。这样使得储存小室 20 可随意接近。运送装置，在此设计得状为一釜式磁铁，以其开启后的状态示于图 7b 之中。可以看得很清楚，由于釜式磁铁的上段不在，均匀化作用降低了。不过，留下的下部极靴 10.2 可确保最终磁场 B_{res} 的各磁场线垂直地终止在此极靴上。这样仍然使之可能在储存
20 小室 20 的区域之中适当地使磁场 B_{res} 均匀化，亦即获得各平行的磁力线，如图中所示。储存小室然后可以在对称轴线的方向上沿着箭头 304 被取出于即使上段被取出也仍然主要是均匀的磁场 B_{res} 之中而不会在为取出而花的短暂时间期间发生气体的某种可注意到的去极化。

参见图 8，其中以透视图表明一符合本发明的容器，具有六角形筒柱而
25 不是圆形筒柱的对称性。容器 1 包括一六角形筒柱壳体 2 和具有分离的上和下部 1.1 和 1.2。各磁场源、各极靴等可以比如如同对于上述各变型所描述的那样予以设置，如果必需，包括各垫片以消除对于场 B_0 的各种边沿效应。

盛放在按照本发明方法所设计的储存小室之中的气体在被从核磁共振
30 成像设备的强磁场之内取出之后仍然拥有一适当程度的极化用于各种期望的用途。

本发明因而提供一种装置，允许在长距离和长时间内储存和运送自旋极化的各种气体，诸如特别是为期望用在医药领域中所需的那样。特别是，本发明的特征在于其制作经济，设计简单、可用容积可能最大和重量很小，从而形成对于外部各漏磁场的可靠屏蔽。本发明因而首次提供了在比如医药领域中使得 ^3He 和 ^{129}Xe 的商业应用成为可行的手段。

关于 ^3He 和 ^{129}Xe 在医学中未来的可能用途，特别要提到极化的 ^3He 和 ^{129}Xe 在卓越的、高分辨力、三维的人体呼吸系统核磁共振成像之中的应用。

关于这种用途，可参照以下各出版物，其所披露的内容完全包含在此申请之中：

- 10 -Bachert 等人，“医药中的磁共振” 36:
192-196(1996); 以及
-Ebert 等人，“刺血针” 347:1297-1299(1996)。

此外，提出了一种轻质结构的小型磁铁，形成一磁场，在一宽大区域内是均匀的，此磁铁既是轻便的、易于运送的，还在成本上是较低的，而且特别是，也在屏蔽可能导致核自旋的某种去极化的各外部磁场方面满足所有的要求。采用市场上有售的一些小型永久磁铁表明了结构和经济两方面的一种十分具有决定意义的优点。

- 20 此外， μ -金属具有极高的导磁性和极低的剩磁， μ -金属在此情况下首次用于制作很薄的因此较轻的、而却高效的各极靴用于磁场的均匀化。
低磁通过允许使用一由薄软铁板制成的轭件，它同时由于釜式形状和相关的径向传导的可能性，可适当地屏蔽各外部干扰磁场。

这意味着，在本发明中，一种具有均匀磁场容积对于总容积的极为有利的比值和很低重量的磁铁首次做得可供使用了。

- 25 在一稍微低等的结构形式中，磁性上的软铁制成的两极靴可以用以代替 μ -金属两极靴，此种软铁虽然降低了场的质量，但在价格方面代表了一种较为经济的变体。还可能用满足同样功能的各磁场线圈来代替各永久磁铁，以便在釜式磁铁之内所需的各点处生成必需的磁通。

最后，一种用于从符合本发明的釜式装置中取出一种自旋极化气体的方法已予说明，在此方法中，在存在各外部磁场比如一核磁共振成像设备的那些磁场时也可保持极化程度。

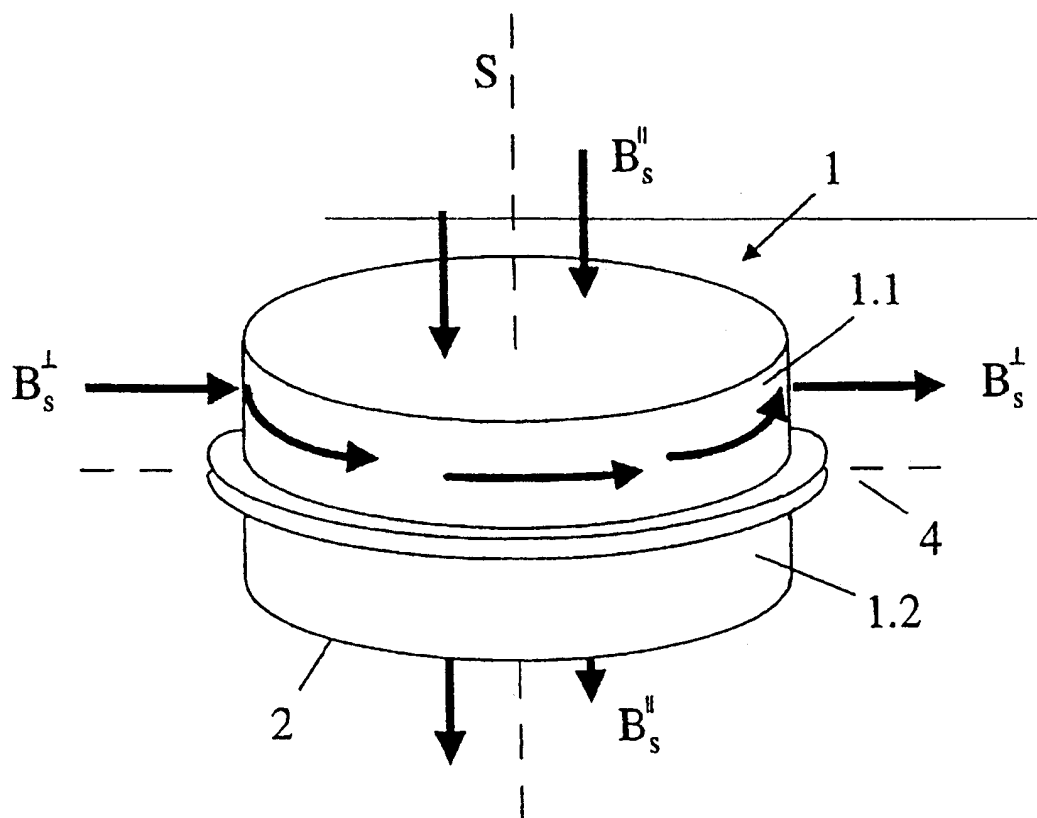


图 1

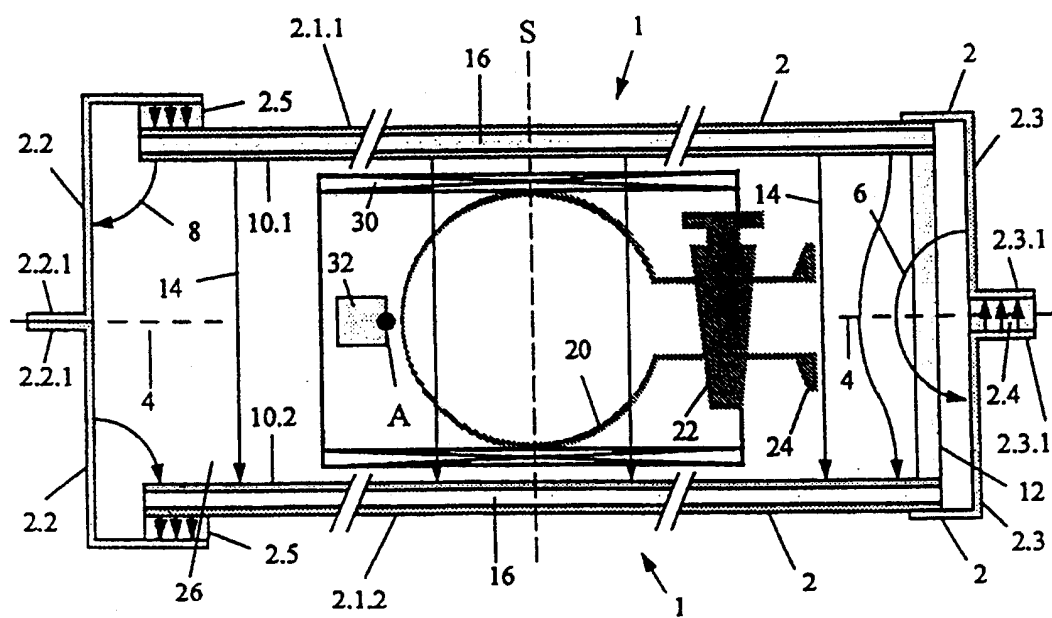


图 2

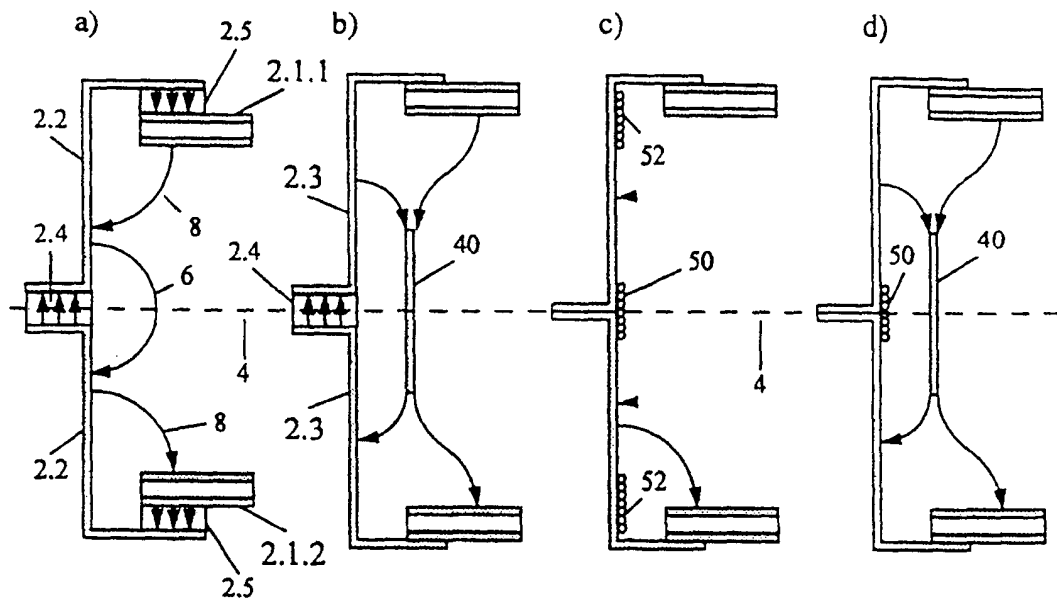


图 3

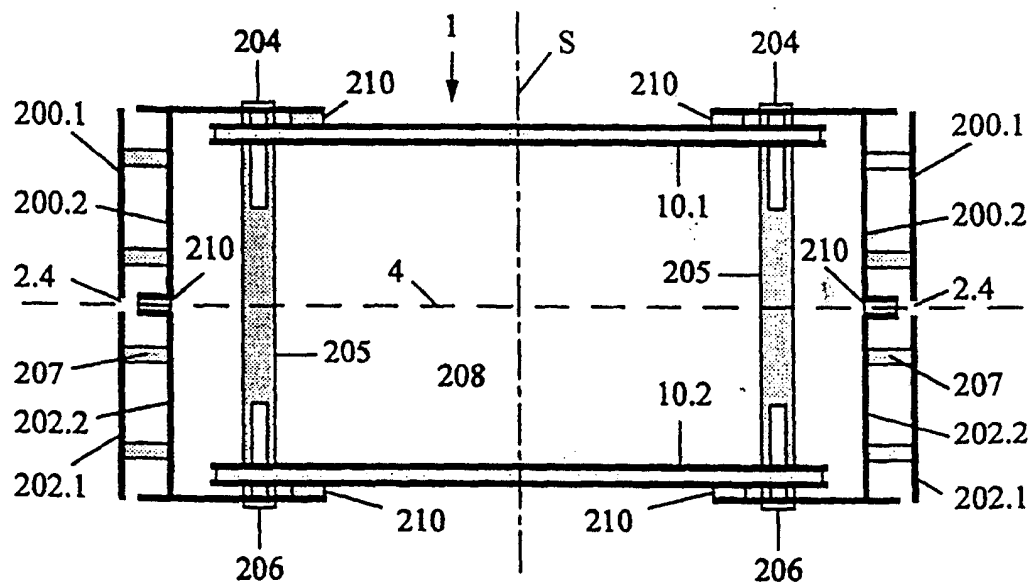


图 4

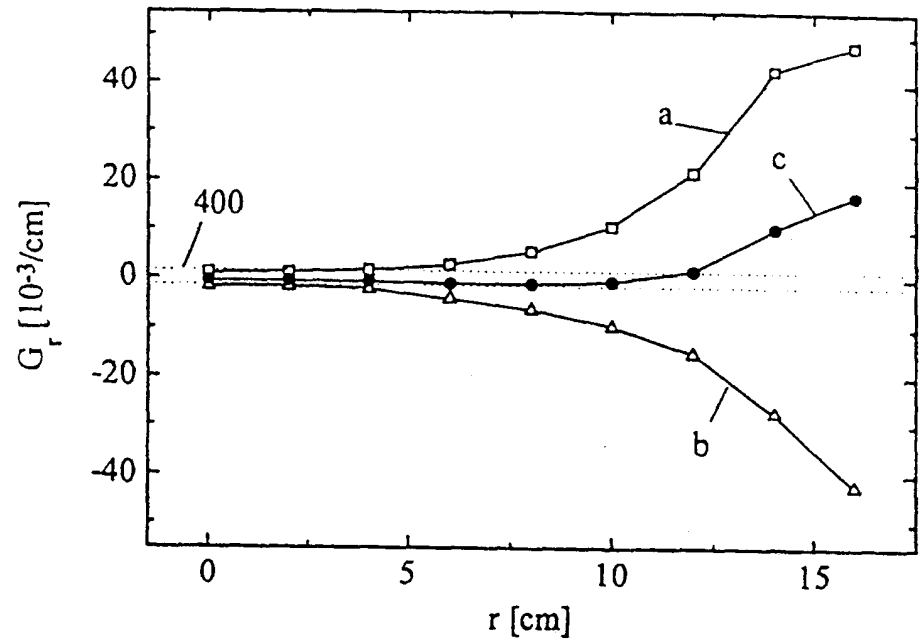


图 5A

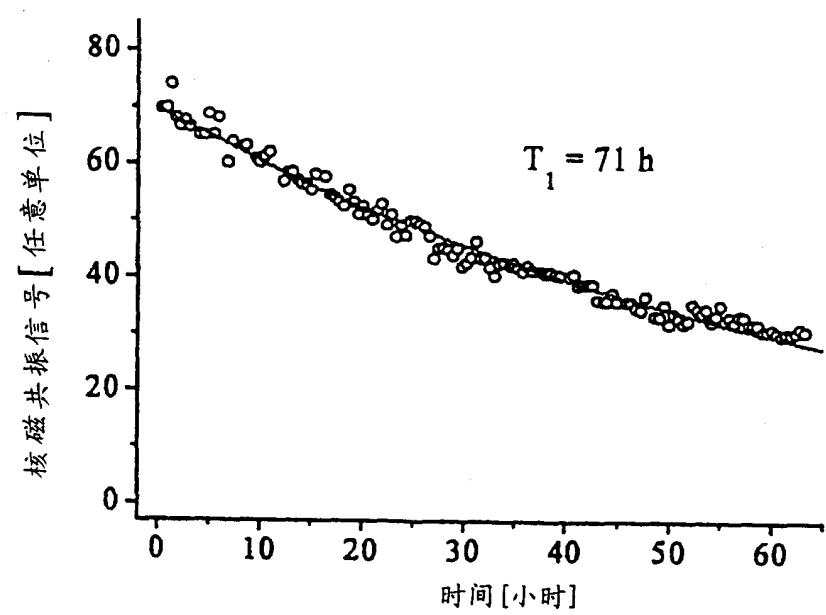


图 6

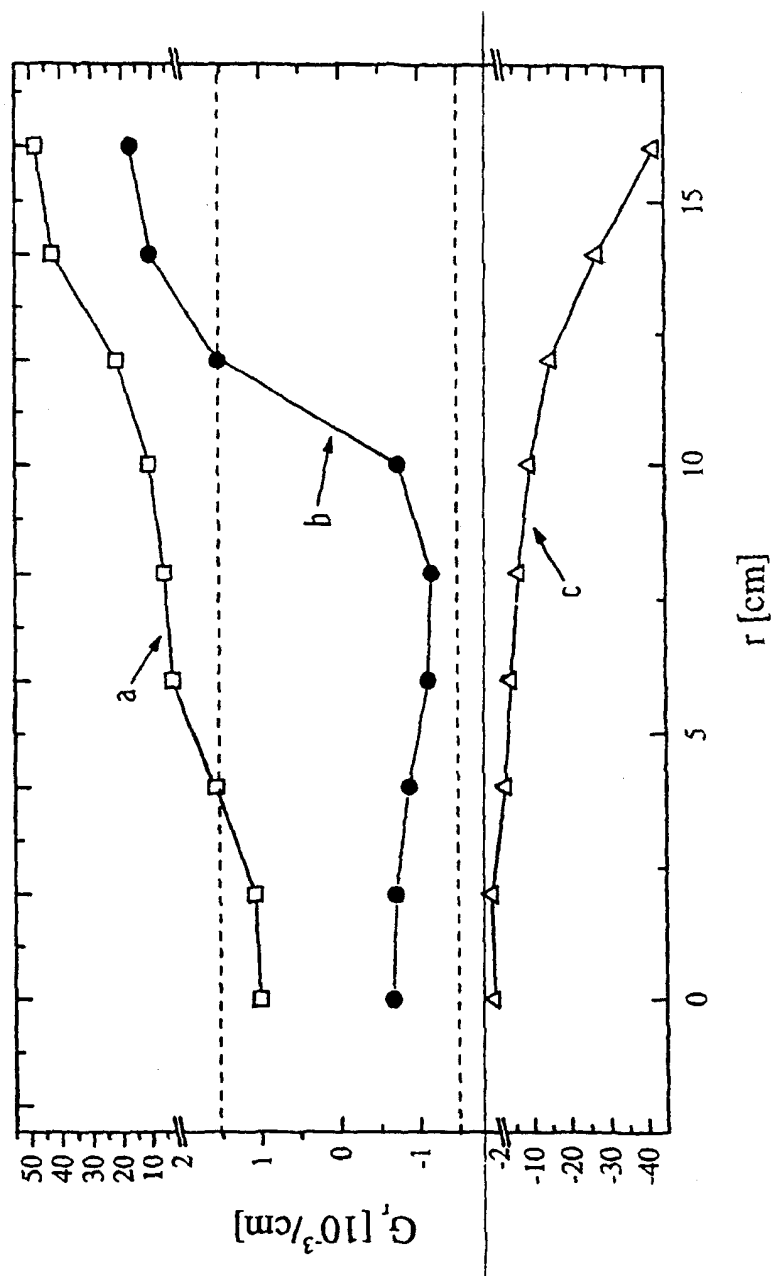


图 5B

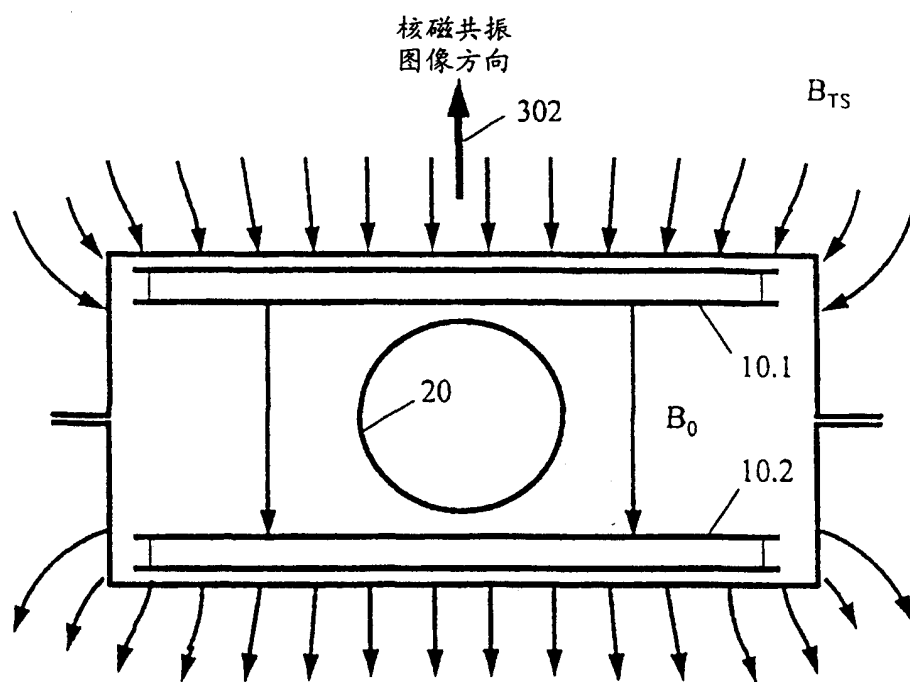


图 7A

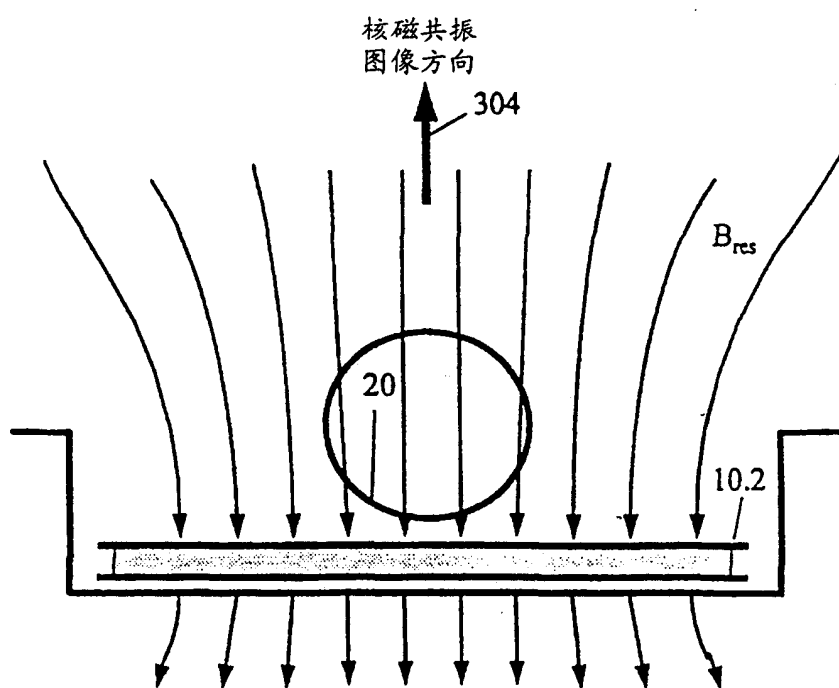


图 7B

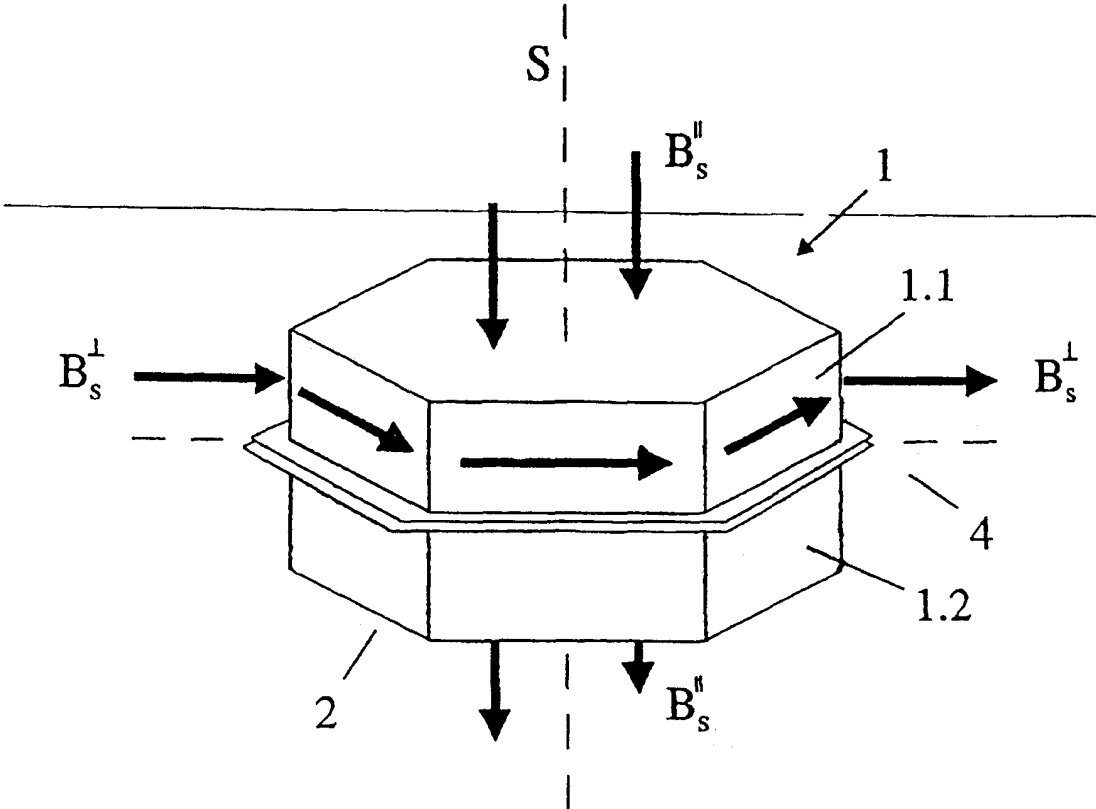


图 8