[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int.Cl[7]
G01R 33/38
A61B 5/055

[12]发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95105412.0

[45]授权公告日 2000 年 11 月 1 日

[11]授权公告号 CN 1058085C

[22]申请日 1995.5.2 [24]颁证日 2000.8.12
[21]申请号 95105412.0
[30]优先权
[32]1994.7.8 [33]JP [31]180665/1994
[73]专利权人 住友特殊金属株式会社
地址 日本大阪
[72]发明人 太田公春 桥本重生
结城正广 樱井秀也
审查员 黄 颖

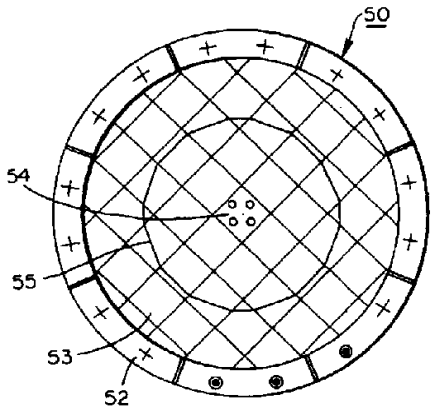
[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所
代理人 马 浩

权利要求书 4 页 说明书 22 页 附图页数 11 页

[54]发明名称 用于磁共振成象装置(MRI)的磁场生成器

[57]摘要

一种用于 MRI(磁共振成象装置)的具有一对在空间互相对立且在该空间产 生磁场的极靴的磁场生成器,其中极靴具有叠层结构,在该结构中有一软铁氧 体和一磁性材料基体从该空间的侧面安装,还有一个低磁导率和高电阻层插于 软铁氧体与磁性材料基体之间。软铁氧体可以是软铁氧体与硅钢片的迭片结构 。由于梯度磁场线圈在极靴中产生的涡流和剩磁被减小,就能够能高灵敏度和 高清晰度进行高速图象拾取。



ISSN1008-4274

权 利 要 求 书

1. 一种用于*MRI*的磁场生成器，它具有一对在空间中互相对立且在空间中产生一个磁场的极靴，其中

该极靴具有一种叠合结构，其中从空间侧面把一个软铁氧体和一个磁性材料基体叠装，及

在该软铁氧体与该磁性材料基体之间插入一个低磁导率和高电阻层。

2. 根据权利要求 1 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该低磁导率和高电 阻层具有大约为 1 的磁导率和至少等于该软铁氧体电阻率的电阻率。

3. 根据权利要求 2 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该低磁导率和高电阻层具有大于 $0.2\Omega \cdot m$ 的电阻率。

4. 根据权利要求 2 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该低磁导率和高电阻层是至少由合成树脂层、陶瓷层、硬木层、纤维板层和空气层之一构成的。

5. 根据权利要求 3 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该低磁导率和高电阻层是由电木制成的。

6. 根据权利要求 1 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该软铁氧体是一种 *Mn—Zn* 型软铁氧体或 *Ni—Zn* 型软铁氧体。

7. 根据权利要求 1 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该磁性材料基体是由电磁软铁或纯铁制成的。

8. 根据权利要求 1 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该软铁氧体是一种 *Mn—Zn* 型软铁氧体，该低磁导率和高电阻层是由电木制成的，且该磁性材料基体是由纯铁制成的。

9. 根据权利要求 1 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该磁性材料基体呈盘形，且一个包括一个有着一个或多个径向槽的磁性材料环的环形突出体，装于该极靴的面向间隙的表面上。

10. 根据权利要求 1 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该磁性材料基体呈长方板形，且一些由磁性材料制成的每个都呈长方条形的突出体被装在该极靴面向空间的表面轴向两端。

11. 根据权利要求1所述的用于***MRI***的磁场生成器，其中该软铁氧体、该低磁导率和高电阻层与该磁性材料基体中的每个厚度之间的比值是5－50：0.5－5：10－50。

12. 根据权利要求1所述的用于***MRI***的磁场生成器，其中

在该软铁氧体和该磁性材料基体之间还夹有一些叠片硅钢片，且

所述低磁导率和高电阻率层插入在该软铁氧体与该叠片硅钢片之间。

13. 根据权利要求 12 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该低磁导率和高 电阻层具有大约为 1 的磁导率和至少等于该软铁氧体电阻率的电阻率。

14. 根据权利要求 13 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该低磁导率和高电阻层具有大于 $0.2\Omega \cdot m$ 的电阻率。

15. 根据权利要求 12 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该低磁导率和 高电阻层是至少由合成树脂层、陶瓷层、硬木层、纤维板层和空气层之一构成的。

16. 根据权利要求 15 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该低磁导率和高电阻层是由电木制成的。

17. 根据权利要求 12 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该软铁氧体是一种 *Mn—Zn* 型软铁氧体或 *Ni—Zn* 型软铁氧体。

18. 根据权利要求 12 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该硅钢片由一种定向硅钢片或非定向硅钢片组成。

19. 根据权利要求 12 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该叠片硅钢片的磁导率等于或大于该软铁氧体的磁导率。

20. 根据权利要求 12 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该磁性材料基体是由电磁软铁或纯铁制成的。

21. 根据权利要求 12 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该软铁氧体是一 种 *Mn—Zn* 型软铁氧体，该低磁导率和高电阻层是由电木制成的，该磁性材料基体是由纯铁制成的，而该叠片

硅钢片是非定向的硅钢片。

22. 根据权利要求 12 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该磁性材料基体呈盘形，且一个包括一个有着一个或多个径向槽的磁性材料环的环形突出体，被装于该磁极靴的面向间隙的表面上。

23. 根据权利要求 12 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中该磁性材料基体呈长方板形，且一些由一种磁性材料制成的每个均呈长方条形的突出体，被装于该极靴的空间对立表面的轴向两端。

24. 根据权利要求 12 所述的用于 *MRI* 的磁场生成器，其中在该软铁氧体、该低磁导率和高电阻层、该叠片硅钢片和该磁性材料基体中的每个厚度之间的比值是3－15：0.5－5：2－35：10－50。

说　明　书

用于磁共振成象装置(*MRI*)的磁场生成器

本发明涉及一种医学治疗等应用领域的磁共振成象装置（此后叫 *MRI*）中使用的磁场生成器的改进；更详细地说，涉及这样一种 *MRI* 磁场生成器：它旨在减小极靴中的涡流和由梯度磁场圈引起的剩磁，而又不破坏磁空间中磁场的均匀性，从而能够进行高速图象拾取，其方法是按照一种叠层结构组成一对在空间互相对立的极靴，在该结构中有软铁氧体或叠层硅钢片且软铁氧体置于磁性材料基体上，并有一个低磁导率和高电阻层插于软铁氧体与磁性材料基体之间，或软铁氧体与叠层硅钢片之间。

MRI 是一种通过把受诊断的人部分地或整个地插入一个形成强磁场的磁场生成器的空间中，能够得到人体层析图象，以充分显现人体组织的性质的装置。

在 *MRI* 磁场生成器中，要求其空间的大小能够部分地或整个地安置受诊断的人，且要求生成 0.02 至 2.0*T* 的稳定而强的均匀磁场，还要求其准确度为小于空间图象拾取视野的 1×10^{-4}（一般情况下），以便得到清晰的层析图象。

作为一种用于 *MRI* 的磁场生成器，已知如图 6(*A*)与(*B*)所示的结构，其中有一对使用 *R—Fe—B* 型磁铁的永磁部件 1，1 被互相对立地设置，在各部件的一端固定极靴 2 和 2(用作磁场生成源)，其另一端连接磁轭 3，以便在极靴 2 和 2 之间的空间 4 中产生静磁场(日本专利公布号平 2—23010)。该图示出一个实施例，其中磁轭 3 由一对平板磁轭 3*a* 和 3*b* 及 4 个柱状磁轭 3*c* 形成。

对于极靴 2 和 2，采用这样一种结构，沿圆周提供环形凸出体，且在中心部位还布置一凸起的突出物(未画出)，以便改善空间 4 中磁场分布的均匀性(日本实用新型公布号平 5—37446)。

此外，作为磁场生成源，已知上述永磁部件 1 和 1 可代之以绕在磁心(未画出)周边的电磁线圈(例如包括一般导电线圈和超导线圈)(日本专利公开号平 4—288137)，其中采用类似于图 6 所示的极靴。

亦知另一种磁场生成器，它以图 6 所示结构为基础，但其中 4 个柱状磁轭 3*c* 代之以一个 *C*—形磁轭，在此，一对平板磁轭 3*a* 和 3*b* 只在其一端用平板磁轭 3*d* 相连(日本设计号 847566)，如图 7 所示。

此外，如图 8 所示，亦已知一种磁场生成器，其中柱状磁轭 3*c* 装于一对平板磁轭 3*a* 和 3*b* 的两端(在通过永磁部件 1 中心且垂直于安置受诊断人方向的假想线上或线后的某一位置)(日本专利公开号平 6—78893)。

同图 6 所示的结构相比，图 7 和图 8 所示的结构具有在把受诊

断人置入空间 4 的方向上自由的优点，且给人以不受压迫的感觉。此外，在这些结构中采用类似于图 6 所示的极靴。

在图 9 所示另一结构的所提磁场生成器中，均由 *R—Fe—B* 型磁铁制成的长方形截面永磁部件 11，11 和三角形截面永磁部件 12，12，12，12，作为磁场生成源而装在多边形(图中为六边形)棱柱磁轭 10 的内周表面上；尤其是，极靴 13 和 13 固定在一对形成主磁场的长方形截面永磁部件 11 和 11 的面向空间的面上，从而在极靴 13 和 13 之间的空间 14 中产生静磁场(日本专利公开号平 6—151160)。

为了改善空间 14 中磁场分布的均匀性，该对极靴 13 和 13，在其轴向两端设有均为长方条形的凸出物 15 和 15，而在其中心部位设有长方板形的凸出物 16。

如前所述，已知有各种各样的用于 *MRI* 的磁场生成器结构。在任何这类结构中，极靴均装在永磁构件的面向空间的表面上，且极靴均包括一个由电磁软铁或纯铁之类的磁性材料切成的大块。

在 *MRI* 中，包括相应于 *X*、*Y* 和 *Z* 三个方向的三套线圈组的梯度磁场线圈(*GC*)，通常装在每个置于永磁构件的面向空间表面的极靴附近(梯度磁场线圈只在图 6 用 6 表示)，且通过向梯度磁场线圈施加脉冲电流可在空间内产生所要方向的梯度磁场。

也就是说，通过向在空间形成的均匀磁场施加梯度磁场可把位置信息给予核磁共振信号，且必须施加多个脉动梯度磁场才能得到

图象。

例如，图 10(*A*)示意性地示出由梯度磁场线圈产生的磁场的理想波形，它具有矩形波形，在极短的时间间隔就达到预定的磁场强度(升降时间)；还具有对称的波形，其中正(十)侧波高等于负(—)侧波高($B_1=B_2$)。此外，在相邻的矩形波形之间，磁场强度降至零。

然而，因为极靴装在梯度磁场线圈附近，所以当脉冲电流供给梯度磁场线圈时，磁场随着脉冲电流的升降而急剧地变化，从而在每个包括一大块由上述电磁软铁、纯铁或类似物制作的材料的极靴中产生涡流。此外，极靴为梯度磁场线圈的磁场所磁化，所以由于极靴中磁滞(剩磁)而破坏空间中磁场的均匀性。

产生涡流或剩磁，会大大扰乱梯度磁场线圈产生的磁场的波形。

也就是说，如图 10(*B*)所示，需要大量时间才能达到预定的磁场强度(升降时间)，且正(十)侧波高不同于负(—)侧波高($B_1=B_2$)，从而形成不对称的波形。在图中，虚线相当于图 10(*A*)所示的理想波形。此外，因为这种矩形波形并非理想的波形，所以在相邻矩形波形之间磁场强度不降至零。

近年来，因为需要以高速拾取更清晰的图象，就常常采用例如利用诸如 *FSE*(快速自旋回波)方法之类的高速转换梯度磁场的脉冲序列的结构。然而，当梯度磁场线圈产生的磁场波形，显示图 10(*b*)所示的由于涡流或剩磁产生的非对称波形时，因为产生信号误差或类似误差，就不能得到所瞄准的图象。

本申请人提出了一种 *MRI* 磁场生成器，它包括各种各样的对位于梯度磁场线圈附近的极靴作了改进的结构，旨在解决上述问题。

例如，图 11 所示的极靴 20 适用于 *MRI* 磁场生成器，这是一种包括具有图 6 所示的构造的所谓叠片结构的极靴，其中，长方形截面的纯铁环 22 被装在盘形纯铁磁性材料基体 21 的面向空间的表面周边上，且多个方块形软铁氧体材料 23 被装在中心部位（日本专利公开号平 4—23411）。

在图中，纯铁心 24 构成用来安装梯度磁场线圈的基片。

本申请人还提出了一种极靴，其中装有方块形叠片硅钢片 26，它包括多个在面向空间方向上叠片且连成一体的硅钢片，如图 12 和图 13 所示，用它代替图 11 所示的方块形软铁氧体 23（日本专利公开号平 4—138131）。

图 12 示出使用定向硅钢片的方块形叠片硅钢片 26，其中多个都在一个相同方向定向的定向硅钢片，都在厚度方向被预先叠合且连成一体，以形成子方块 26*a* 和 26*b*（图中箭头表示易磁化轴的方向），然后再把这些子方块这样叠合且连成一体，使子方块的易磁化轴方向彼此垂直。

图 13 示出使用非定向硅钢片的方块形叠片硅钢片 26，其中硅钢片只是在厚度方向被叠合并连成一体，而不考虑图 12 结构中所示的定向性。

本申请人还曾提出一种如图 14 所示的极靴 30，其中方块形叠

片硅钢片和方块形软铁氧体是有效地叠合和装配的(日本专利公开号平5—182821)。

这就是说，在盘形纯铁磁性材料基体31的面向空间的表面周边上安置长方形截面的纯铁环32，并且方块形叠片硅钢片36和方块形软铁氧体33是这样叠合和装配的，以致于叠片硅钢片36紧靠在磁性材料基体31上，以形成极靴。

图15示出包括图9所示结构的*MRI*磁场生成器用的极靴40，其中都呈长方条形的纯铁突出物42装在轴向两端，且方块形软铁氧体43以纯铁制成的长方板形状装在磁性材料基体41的面向空间的表面上的中心部位(日本专利公开号平6—151160)。

此外，在这种结构中，方块形叠片硅钢片或方块形叠片硅钢片和方块形软铁氧体也可以叠合和装配，以代替中心部位的方块形软铁氧体43。

可以使用具有有效地装配的软铁氧体或硅钢片的极靴，来减少涡流和剩磁，但还要进一步改进，方可用于例如采用上述*FSE*(快速自旋回波)方法的*MRI*。

这就是说，改进图象清晰度和缩短图象拾取时间的要求已日益增加，据此，加给梯度磁场线圈的脉冲电流趋于增加，且脉冲电流产生的磁场强度趋于进一步增加。

虽然具有高电阻的软铁氧体对减小产生涡流是有效的，但由于磁场生成源产生的磁场和梯度磁场线圈产生的磁场的倍增效应，容

易引起磁饱和。

因此，在具有装于面向空间的表面的软铁氧体的极靴中，其软铁氧体中磁通密度，也随着由梯度磁场线圈引起的磁场强度的增加而增加而造成部分或全部磁饱和，从而一部分磁通漏失到磁性材料基体，或与软铁氧体磁饱和部分相接触的叠片硅钢片。

因此，漏失的磁通就在磁性材料基体中或叠片硅钢片中造成涡流或剩磁。

为了减小梯度磁场线圈所产生磁场对磁性材料基体或叠片硅钢片的影响，可以考虑加大软铁氧体的厚度。然而，这是不经济的，因为软铁氧体的成本增加，并且软铁氧体厚度的增加必然会增加极靴的整个厚度，从而导致从极靴外周表面漏失的磁通增加，生成器的尺寸加大。

同软铁氧体相比，叠片硅钢片具有较高的饱和磁通密度(*Bs*)，并且具有减少产生涡流的优点，和容易获得改善空间中磁场均匀性的优点。然而，同软铁氧体相比，硅钢具有稍大的矫顽磁力，从而难以完全防止产生那种造成几个毫高斯数量级剩磁的剩磁，其剩磁虽少，但却破坏在空间中磁场的均匀性，尤其在其面向空间的表面装有叠片硅钢片的极靴中更是如此。

本发明鉴于 *MRI* 磁场生成器所用极靴的上述状况而提出，其目的在于提供一种其极靴被安排得能够用高灵敏度来高速地拾取清晰图象的 *MRI* 磁场生成器，方法是减小梯度磁场线圈在极靴中产

生的涡流和剩磁，又不破坏空间中磁场的均匀性，以便按照例如*MRI*应用不可缺少的高速图象拾取所需的*FSE*方法，在磁路空间中实现稳定地生成磁场，并消除梯度磁场。

本发明人为达到上述目的对*MRI*磁场生成器作过各式各样的研究，结果发现，能够减小由梯度磁场线圈产生的涡流和剩磁，而不会损害磁场强度和磁场均匀性，从而能够进行高速图象拾取，方法是按照其中有软铁磁体或叠片硅钢片和软铁磁体装在磁性材料基体上的叠片结构，组成一对在空间互相对立的极靴，并且在软铁磁体和磁性材料基体之间或软铁磁体和叠片硅钢片之间，插入一层低磁导率和高电阻的材料，从而完成本发明。

换句话说，本发明人等已按照进行高速图象拾取所需的诸如*FSE*方法或类似方法，为在*MRI*磁场生成器磁路空间中实现稳定生成和消除梯度磁场做了各式各样的研究；并且注意到，在其中有软铁氧体装在磁性材料基体上的叠片结构的极靴中，部分地存在接近饱和的部位，这是用等磁通密度图检查磁路得出的结果。于是，根据假设，即如果按上述状态给出梯度磁场，则穿过软铁氧体的脉动磁通不能穿过磁饱和部位，而磁漏似乎绕道磁性材料基体，从而在这些部位产生涡流和剩磁，本发明人对能够消除这类不利机理的方法作了各式各样的研究，并且发现，通过把一层低磁导率和高电阻的合成树脂或类似物质插入磁性材料基体和软铁氧体之间，就甚至在梯度磁场的作用下，也几乎不产生涡流和剩磁。考虑到合成树脂层形成一

个通常在磁路习惯设计中应当避免的磁隙，但它能消除磁饱和部位，使脉动磁通顺利通过磁路；发明人业已发现，在其中有叠片硅钢片和软铁氧体装在磁性材料基体上的极靴结构中，把合成树脂层插入叠片硅钢片和软铁氧体之间，也能得到类似的效果，从而完成本发明。

因此，本发明提供一种具有一对在空间互相对立的且在空间产生磁场的极靴的 *MRI* 磁场生成器，其中极靴包括一个从空间侧面安置软铁氧体和磁性材料基体的叠合结构，且有一层低磁导率和高电阻材料插在软铁氧体和磁性材料基体之间。

本发明还提供一种具有一对在空间互相对立的且在空间产生磁场的极靴的 *MRI* 磁场生成器，其中极靴包括一个从空间侧面安置软铁磁体、叠片硅钢片和磁性材料基体的叠合结构，且有一层低磁导率和高电阻材料插在软铁氧体和叠片硅钢片之间。

在本发明的最佳实施例中，低磁导率和高电阻材料层最好是合成树脂层。

在本发明的另一实施例中，磁性材料基体呈盘形，并且在极靴的面向空间的表面上，装有一个包括开有一个或多个径向槽的磁性材料环的环形凸出物，这会进一步改善磁场的均匀性。

在本发明的又一实施例中，磁性材料基体呈长方板形，且在极靴面向空间的表面上的轴向两端，装有一些包含磁性材料的均呈长方条形的凸出物，这会进一步改善磁场物均匀性。

根据本发明的 *MRI* 磁场生成器，不限于尔后描述的实施例，可

用于任何装有一对在空间互相对立的极靴以在空间产生磁场的结构。

这就是说，用作磁场生成源的磁体部件不限于永久磁体，也可使用绕在铁心周围的电磁线圈（包括一般导电线圈和超导线圈），并且极靴不一定直接装在磁体部件上。此外，形成磁性地连接磁体部件和一对极靴的磁路以便在空间产生磁场的磁轭，可以有根据各种要求的特性，例如根据空间尺寸、磁场强度和磁场均匀性适当选择的任选的形状和尺寸。

在使用永久磁体作磁场生成源磁体部件的情况下，可以使用一些已知的磁体，例如铁氧体磁体和稀土钴系磁体。尤其是，通过使用 $Fe-B-R$ 型永久磁体，能够显著减小永久磁体的尺寸，其中 R 是主要含有 Nd 和 Pr 的资源丰富的轻稀土金属，而 B 和 Fe 是主要的组分，这种磁体表现出大于 $30MGOe$ 的极高的磁能积。此外，联合地安排这样一些已知的永久磁体，能够提供一种很经济的磁场生成器，而不会明显妨碍减小其尺寸。

在本发明中，可以使用一些已知的极靴用的材料，例如电磁软铁和纯铁，作组成极靴的磁性材料基体，该磁性材料基体能够提供均匀的磁场强度，保证整个极靴的机械强度，且在组装磁场生成器时提高工作效率。

在本发明中，各式各样的软铁氧体，例如 $Mn-Zn$ 铁氧体和 $Ni-Zn$ 铁氧体，都可用作构成极靴的软铁氧体；希望软铁氧体具有很

高的电阻，以减小涡流，要优先选用电阻率 ρ 大于 $10^{-5}\Omega \cdot m$ 的材料，大于 $10^{-3}\Omega \cdot m$ 是可取的，大于 $10^{-2}\Omega \cdot m$ 更可取，而大于 $10^{-1}\Omega \cdot m$ 特别可取。此外，为了引导对由磁体部件产生的磁通量进入空间，希望磁导率高，且要优先选用具有大于 1000 的最大磁导率（此后叫作磁导率 μ）的材料，若大于 5000，则更可取。

此外，为防止剩磁，希望矫顽力小，且要优先选用例如矫顽力 Hc 小于 $20A/m$ 的材料，若小于 $10A/m$，则更可取。

此外，为减小由于磁体部件磁场和梯度磁场线圈磁场的叠加作用而引起的磁饱和，希望该材料具有高的饱和磁通密度 Bs，且希望其饱和磁通密度 Bs 大于 $0.4T$，最好是大于 $0.5T$。

作为最好地满足各种条件的软铁氧体，$Mn-Zn$ 型软铁氧体是很合乎需要的。

当上述材料制作的软铁氧体用于极靴时，由已知压缩模制工艺制得且加工成所需形状的一个大块，或都加工成预定尺寸且用环氧树脂之类的粘接剂装配成预定形状的一些小块，都能加以利用，且容易以良好工作效率装在预定位置上。

在本发明中，叠片硅钢片的叠合方向不只限于实施例的方向，而在极靴相反方向（面对间隙方向）的叠合可能有助于装配方块形叠片硅钢片，且由机械强度或类似观点看来也是合乎需要的。

此外，在使用定向硅钢片的情况下，例如，*JIS C2553*（日本工业标准 *C2553*），最好是用参考图 12 所述的叠片。在使用非定向硅

钢片的情况下(例如,*JIS C2552*),最好是用参考图 13 所述的叠片结构。尤其是,使用非定向硅钢片能够对减少剩磁产生明显的效果。

为了实现本发明的目标,对硅钢片,也需要象上述软铁氧体材料一样,从各种材料中优选材料。尤其是,希望所选材料的磁导率 μ 不小于软铁氧体的磁导率 μ。希望该值尽可能大,至少大于 4000,最好大于 10,000。此外,还希望饱和磁通密度 *Bs* 尽可能高,且希望选择饱和磁通密度高于 1.5*T* 的材料。此外,由减小剩磁看来,希望矫顽力 *Hc* 尽可能小,且在非定向硅钢片情况下,希望选择矫顽力小于 $50A/m$ 的材料。由减小涡流看来,希望电阻尽可能高,且希望选择电阻率 ρ 高于 $30\times10^{-8}\Omega\cdot m$ 的材料,最好高于 $40\times10^{-8}\Omega\cdot m$。

硅钢片可以有任选的厚度。因为市场上容易买到的硅钢片通常具有薄至 0.35*mm* 左右的厚度,且难以处理,所以可以把多个预先切成预定尺寸的长方形之类的形状的硅钢片按预定方向叠合,并合成方块形状,藉此可用高的工作效率把它们装在极靴的预定部位。

通过联合使用叠片硅钢片和软铁氧体,能够有效地达到本发明的目的。

也就是说,本发明人进行的实验已证实,软铁氧体具有减小剩磁的效果,其效果优于叠片硅钢片,但它有磁场波形对称性方面的问题;还证实,叠片硅钢片可改善磁场波形的对称性,这方面优于软铁氧体,但它有剩磁方面的问题(参阅图 10(*B*))。

因此,通过优化软铁氧体和叠片硅钢片的叠合数量(大小),就

能有效利用它们各自的优点。尤其是，能够得到大的经济效益，因为叠片硅钢片要比软铁氧体便宜。

在极靴包含软铁氧体和磁性材料基体的叠层的情况下，必须在软铁氧体与磁性材料基体之间形成一层低磁导率和高电阻的材料，这是本发明的一个主要特点；或者在极靴包含软铁氧体、叠片硅钢片和磁性材料基体三者的叠层的情况下，必须在软铁氧体和叠片硅钢片之间形成它。

这就是说，极靴形成一层低磁导率和高电阻物质，能够防止由永久磁体部件之类的磁场生成源的磁场引起的软铁氧体中磁饱和，甚至在梯度磁场线圈引起的磁场作用下也不会部分地或整个地在软铁氧体中导致磁饱和，能够减小磁通从软铁氧体漏失到磁性材料基体或叠片硅钢片，因此能够在磁性材料基体或叠片硅钢片中减小由梯度磁场线圈的磁场引起的涡流和剩磁的产生。

如上所述可知，为了通过在软铁氧体和磁性材料基体之间夹一层材料，或在软铁氧体和叠片硅钢片之间形成了一层物质，来防止由磁场生成源的磁场在软铁氧体中引起磁饱和，该层必须具有低的磁导率，即高的磁阻，并可以考虑采用各种非磁性材料。然而，如果该层由铜或铝之类的低电阻（高电导率）材料制成，则该层自身产生涡流，因此必须选择高电阻材料。

根据本发明人的经验，通常希望选择工业上可得的材料，这种材料具有 1 左右的磁导率，且就电阻而论，具有等于或大于组成极靴

的软铁氧体的电阻率 ρ(例如大于 $0.2\Omega \cdot m$)。因此,作用由合成树脂,例如氯乙烯、聚乙烯、环氧树脂和酚树脂(电木)制作的板,从处理观点看来,也是合乎需要的。

此外,采用例如下述的结构也能得到类似的效果:对磁性材料基体侧面上或叠片硅钢片侧面上的每个方块形软铁氧体,安置一个由合成树脂制作的小凸起物,从而在软铁氧体和磁性材料基体或叠片硅钢片之间形成一个显著的空气层。

此外,还能使用氧化铝或氮化硅之类的陶瓷,胶合板之类的硬木,和 *MDF* 之类的纤维板。

上面描述的低磁导率和高电阻层,对达到本发明的目的是极其重要的;但如果该层厚度过大,则磁阻过分增加,导致磁场生成源的磁通势的损失增加,结果降低空间中磁场强度。这就是说,磁路的磁效率受损。

另一方面,如果该层厚度被不必要地减小,就不能得到该层预期的效果。因此,希望按照下列因素选择该层的厚度:组成极靴的每个部件的形状、大小和材料,磁场生成源的磁特征,梯度磁场线圈的特征,空间中磁场强度等。举例来说,对于迄今所用的具有约 $1m$—$1.5m$ 外径的一般盘形极靴,和具有约 $0.4m$—$1m$ 宽 $\times$ $1m$—$1.5m$ 长的长方板形极靴,希望其厚度在 $0.5mm$ 至 $5mm$ 范围以内。

在本发明中,通过优选低磁导率和高电阻层的厚度,和优选每个组成极靴的部件的厚度比率,能够保证极靴的机械强度,还能够在使

磁场强度均匀和防止磁极片的涡流和剩磁方面收效最大。

例如，在具有软铁氧体、低磁导率和高电阻层与磁性材料基体的结构中，希望其厚度比值(每个部件的最大厚度比值)在5—50：0.5—5：10—50的范围以内。在具有软铁氧体、低磁导率和高电阻层、叠片硅钢片与磁性材料基体的结构中，各部件的厚度比值希望选为3—15：0.5—5：2—35：10—50的范围以内。

此外，在本发明中，为了改进空间中磁场的均匀性，只对盘形磁性材料基体或长方板形磁性材料基体的面向空间的表面的中心部位，制成软铁氧体或叠片硅钢片和软铁氧体的叠合结构；且凸出物包括例如由电磁软铁或纯铁制造的磁性材料环或磁性材料条，它们是在盘形磁性材料基体的周边或长方板形磁性材料基体的轴向两端制成的。

希望磁性材料环或磁性材料条对磁性材料基体电绝缘，以减小涡流效应。尤其希望通过在圆周方向安排一条或多条槽来分隔磁性材料环。

图1(*A*)和1(*B*)是根据本发明的磁场生成器极靴实施例的俯视平面图和垂直剖视图；

图2是图1(*B*)所示极靴的局部放大垂直剖视图；

图3是说明根据本发明的极靴另一结构的局部垂直剖视图；

图4是根据本发明的磁场生成器中极靴的等磁通密度图；

图5是比较实施例的磁场生成器中极靴的等磁通密度图；

图 6(*A*)和(*B*)是现有磁场生成器的垂直剖视图和水平剖视图；

图 7 是现有磁场生成器的垂直剖视图；

图 8 是现有磁场生成器的说明性透视图；

图 9 是现有磁场生成器的说明性透视图；

图 10(*A*)、(*B*)和(*C*)是说明表示梯度磁场线圈所产生磁场波形的时间与磁场强度之间关系的图；

图 11(*A*)和(*B*)是说明现有磁场生成器中极靴 实施例的俯视平面图和垂直剖视图；

图 12 是说明方块形叠片硅钢片实施例的说明性透视图；

图 13 是说明方块形叠片硅钢片另一实施例的说明性透视图；

图 14 是说明图 6 所示磁场生成器所用极靴结构的垂直剖视图；和

图 15 是说明图 9 所示磁场生成器所用极靴结构的透视图。

图 1(*A*)和(*B*)是说明根据本发明的磁场生成器中极靴最佳实施例的俯视平面图和垂直剖视图，图 2 是图 1 中一个部位的局部放大垂直剖视图。

图 3 是说明根据本发明的磁场生成器中极靴另一实施例的局部垂直剖视图。

图 1 和 2 所示极靴 50 包括一个由纯铁制造的盘形磁性材料基体 51，借助一个用作低磁导率和高电阻层的电木薄板把多个方形软铁氧体块 53 安置在基体 51 的上表面上。通常用合成环氧树脂粘接

剂把方形软铁氧体块53固定在电木薄板57上。

在图中，由纯铁制造的环形圈52和由软铁制造的铁心54，组成安装梯度磁场线圈用的基片。

在极靴50的中央部位装有通过调整方形软铁氧体53厚度而形成的凸起突出物55，借助它与环形圈52的倍增效应，能够进一步改善空间中磁场的均匀性。

图3所示的极靴60，包括一个在纯铁制造的盘形磁性材料基体61的上表面上，通过安放多个用非定向硅钢片叠成的方块形叠片硅钢片66（参见图11），并且还借助一层包括低磁导率和高电阻的电木薄板67，通过安放多个方形软铁氧体块63而形成的结构。

也用合成环氧树脂粘结剂按与上述结构相同的方式，来固定方形叠片硅钢片66与方形软铁氧体块63。

在图中，由纯铁制造的环形圈62和凸起的突出体65，是通过调整方形叠片硅钢片66和方形软铁氧体63的厚度而形成的。

在使用图15所示长方板形状的磁性材料基体41的极靴中，通过在方块形软铁氧体43与磁性材料基体41之间，或在方块形软铁氧体与叠片硅钢片（未画出）之间，插入由低磁导率和高电阻的电木薄板制造的一层，也能够得到类似于在包括使用盘形磁性材料基体的结构的极靴中产生的效果。

当根据本发明的包括上述结构的极靴用于*MRI*磁场生成器时，在预定部位形成的低磁导率和高电阻层，能够防止由永久磁体

部件之类的磁场生成源的磁场在软铁氧体中引起的磁饱和，甚至软铁氧体处于梯度磁场线圈的磁场作用下也不会部分地或整个地产生磁饱和，并能减小磁通从软铁氧体漏失到磁性材料基体或叠片硅钢片。结果，这能减小磁性材料基体或叠片硅钢片中由梯度磁场线圈引起的涡流和剩磁的生成，从而能够借助用脉冲序列的高速图象拾取所需要的 *FSE* 方法或类似方法，在磁路空间中实现稳定生成和消除梯度磁场的目标。

根据最佳实施例可知，由梯度磁场线圈产生的磁场波形几乎不显示图 10 所示的由剩磁引起的磁场扰动，且涡流的产生也大为减小，所以其磁场波形基本上与图 10(*A*)的理想矩形波形相同。这就是说，用高速图象拾取能得到清晰的图象。

例 1

在具有与图 6 所示相同结构的磁场生成器中，采用一种 *Nd—Fe—B* 系永久磁体，其尺寸为 1300*mm* 外径×190*mm* 内径×150*mm* 厚，其$(BH)_{max}$为 40*MGOe*，且在该磁体上固定极靴 50。极靴 50 具有一种如下形成的结构：把一个尺寸为 1200*mm* 外径×1000*mm* 内径×70*mm* 厚的由低碳钢制造的环形凸出体沿周边安装到一个尺寸为 1200*mm* 外径×40*mm* 厚的由纯铁制造的磁性材料基体 51 上；并且借助尺寸为 1000*mm* 外径×1*mm* 厚的电木薄板 57，叠上一个具有凸起突出体 55 的由方形软铁氧体 53 装配成象盘子一样形状的、尺寸为 1000*mm* 外径×25*mm* 厚(中央部位)的软铁

氧体层。

该软铁氧体是一种 $Mn-Zn$ 系铁氧体，具有下列数据：$Hc=6.0A/m$，$Bs=0.54T$，$\mu=6000$，和 $\rho=0.2\Omega\cdot m$。纯铁具有：$Hc=80A/m$，$Bs=2.0T$，$\mu=5000$，和 $\rho=1\times10^{-7}\Omega\cdot m$。电木具有：$\mu=1$，和 $\rho=1\times10^{11}\Omega\cdot m$。

当一对上下环形突出体的对立表面之间的距离定为 500mm 时，磁场强度为 0.3T，且在空间中心周围 200mm 半径范围内的实测空间内磁场的均匀性为 30ppm。通过用有限元法仿真，计算了本实施例的磁通密度，其结果如图 4 等磁通密度图所示。

此外，对由梯度磁场线圈中脉冲电流以 10ms 的脉冲宽度产生梯度磁场（$8mT/m$）时引起的剩余磁场和涡流作了测量，测量结果如表 1 所示。

比较性例 1

对除了不把电木薄板 57 插入极靴之外，其他方面都与例 1 结构相同的磁场生成器，用相同方式测量了磁特性。通过在空间中心周围 200mm 半径范围内的测量，得到 30ppm 的磁场均匀性和 0.3T 的磁场强度。通过用有限元法仿真，算出本实施例的磁通密度，其结果如图 5 的等磁通密度图所示。

此外，对由梯度磁场线圈中脉冲电流以 10ms 的脉冲宽度产生梯度磁场（$8mT/m$）时引起的剩余磁场和涡流作了测量，测量结果如表 1 所示。

在图 4 和图 5 所示的等磁通密度图中，等磁通密度曲线上示出的数值是磁通密度 KG，表明磁通密度值在同一曲线上是相同的。根据把梯度磁场线圈（GC）与极靴对置的范围内的图可知，在比较例 1 情况下磁通密度是接近饱和状态的 5.0 至 5.4KG，而在例 1 情况下是 4.0 至 4.2kG，表示在施加梯度磁场时没有产生磁饱和。

例 2

在例 1 的结构中，把图 3 所示的极靴 60 安装到永久磁体上。极靴 60 包括一种如下形成的结构：把一个尺寸为 1200mm 外径×1000mm 内径×70mm 厚的由低碳钢制造的环形突出体 62，沿周边安装到一个尺寸为 1200mm 外径×40mm 厚的由纯铁制造的磁性材料基体 61 上；安装一个在环形突出体 62 里面使用具有下面规定的性质的非定向硅钢片把方块形叠片硅钢片组装而成的尺寸为 1000mm 外径×15mm 厚（中央部位）的盘形硅钢片层；并且还借助一个尺寸为 1000mm 外径×1mm 厚的电木薄板 67 重叠一个由方块形软铁氧体 63 组装成类似盘形的尺寸为 1000mm 外径×10mm 厚（中央部位）的软铁氧体层。

非定向硅钢具有 $Hc=40A/m$，$Bs=1.7T$，$\mu=12000$，和 $\rho=45\times10^{-8}\Omega\cdot m$。

当用相同方式对具有上述结构的磁场生成器测量磁性质时，得出在空间中心周围 200mm 半径范围内的磁场均匀性为 30ppm，磁场强度为 0.3T。此外，对由梯度磁场线圈中脉冲电流以 10ms 脉冲

宽度产生梯度磁场(8mT/m)时引起的剩余磁场和涡流作了测量，测量结果示于表1。

在比较性例1的情况下，其中软铁氧体层直接装到磁性材料基体上，剩余磁场是4mG；而在两例的情况下，剩余磁场被减至小于比较性例1的剩余磁场的一半。其中例1是利用插在软铁氧体层与磁性材料基体之间的电木薄板把软铁氧体层叠在磁性材料基体上面，例2是把电木薄板插于硅钢片与软铁氧体层之间。

此外，假定比较性例1中涡流值为1，则两例的涡流值可用相对于此值的比值表示。可以看到，例1和例2的比值均大为减小。

表1

	剩余磁场	涡流
例1	1.5mG	1/4
例2	2.0mG	1/5
比较性例1	4mG	1

根据本发明，因为一对在空间中互相对立的极靴是按照叠层结构组成的，其中软铁氧体或叠片硅钢片和软铁氧体被置于磁性材料基体之上，且一个合成树脂层之类的低磁导率和高电阻层被插于软铁氧体与磁性材料基体之间或软铁氧体与叠片硅钢片之间，所以能够防止由永久磁体部件之类的磁场生成源的磁场在软铁氧体中引起的磁饱和；并且因为该叠层结构，甚至在梯度磁场线圈的磁场作用下也不会在软铁氧体中部分地或整个地产生磁饱和，且能够减小磁

通从软铁氧体漏失到磁性材料基体或叠片硅钢片，结果，能够减小梯度磁场线圈的磁场在磁性材料基体或叠片硅钢片中引起的涡流或剩磁的产生，所以能够按高速图象拾取所需要的 *FSE* 方法或类似方法把梯度磁场用于 *MRI* 磁场生成器的磁路空间中的稳定脉冲序列控制。

说　明　书　附　图

图 1 （A）

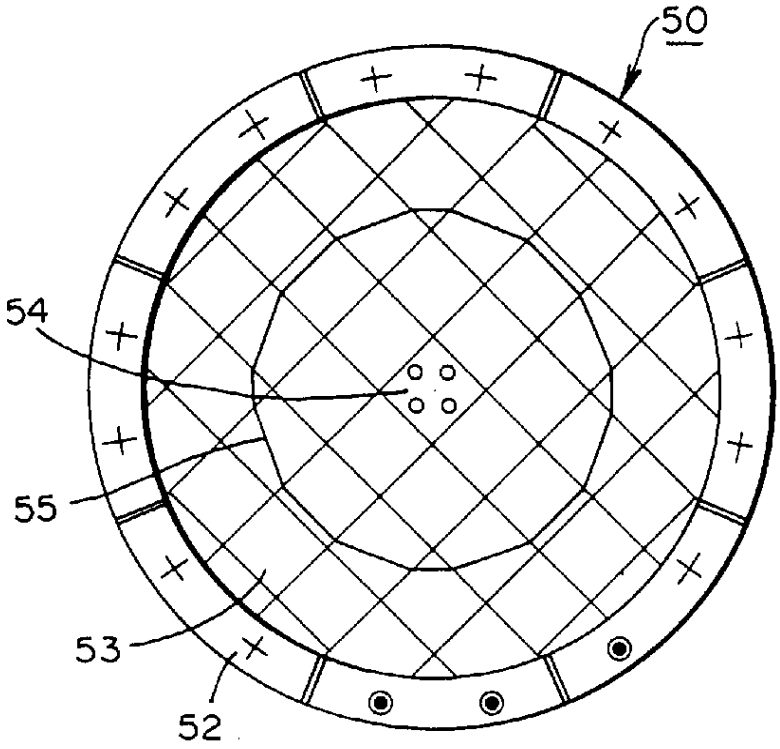


图 1 （B）

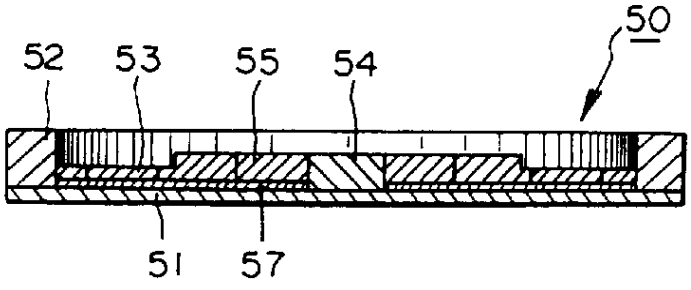


图 2

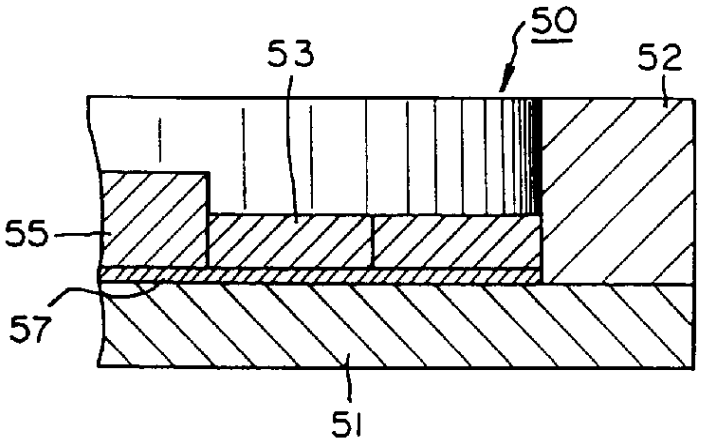


图 3

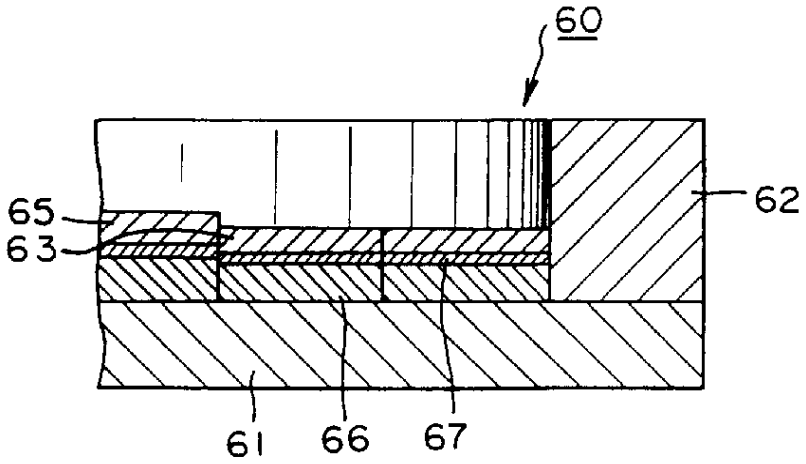


图 4

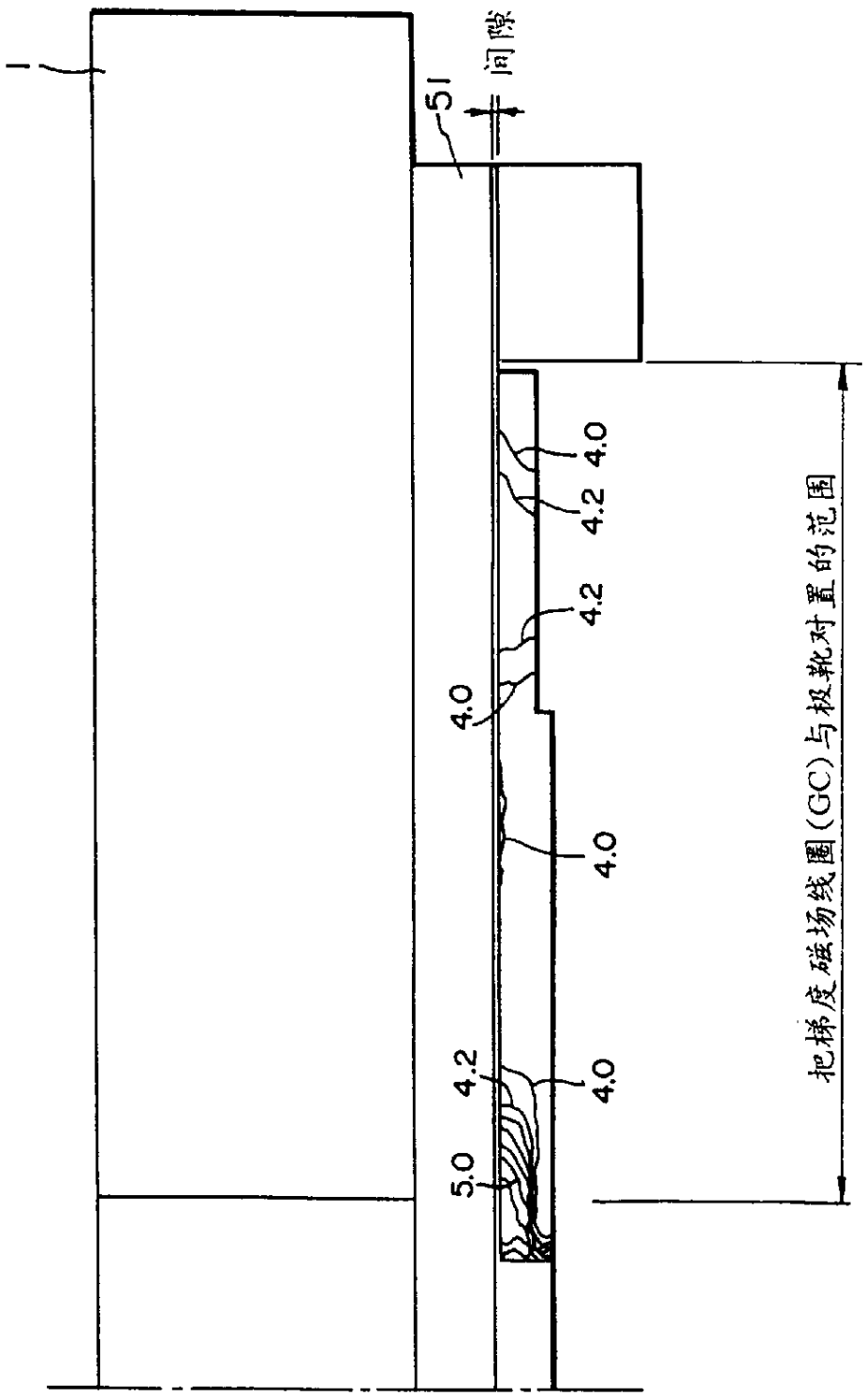


图 5

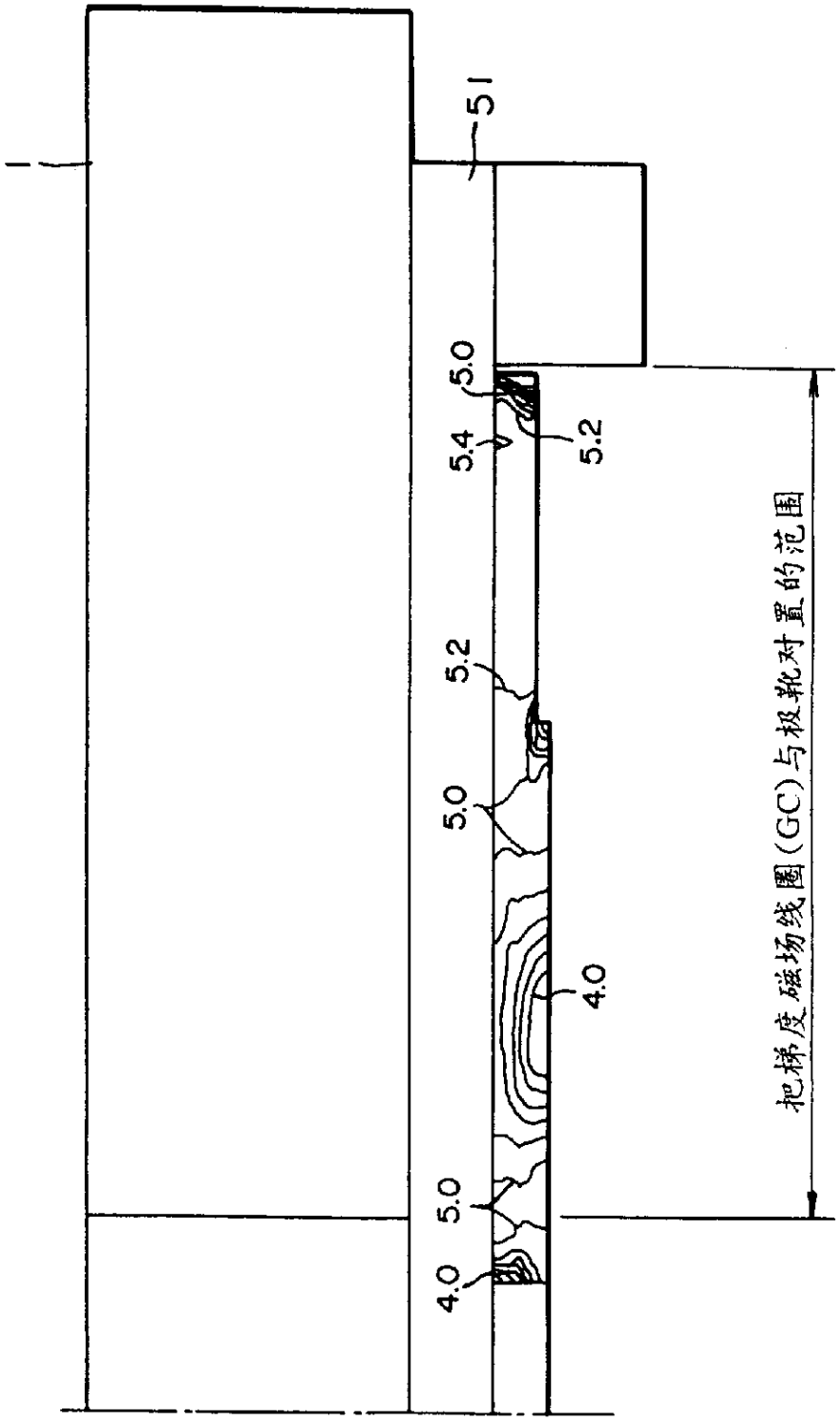
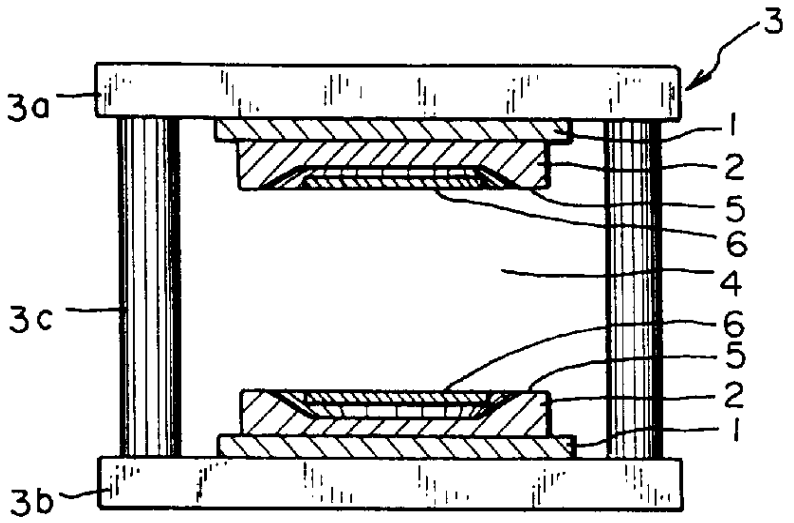
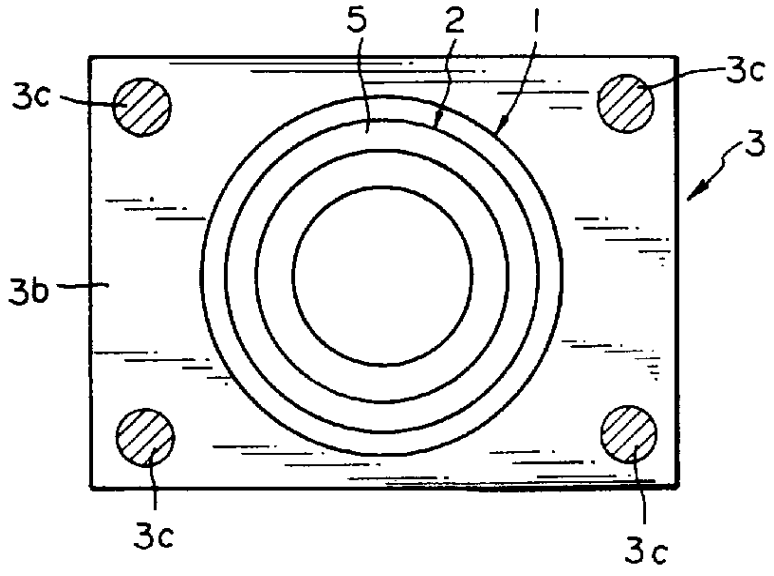


图 6 （A）



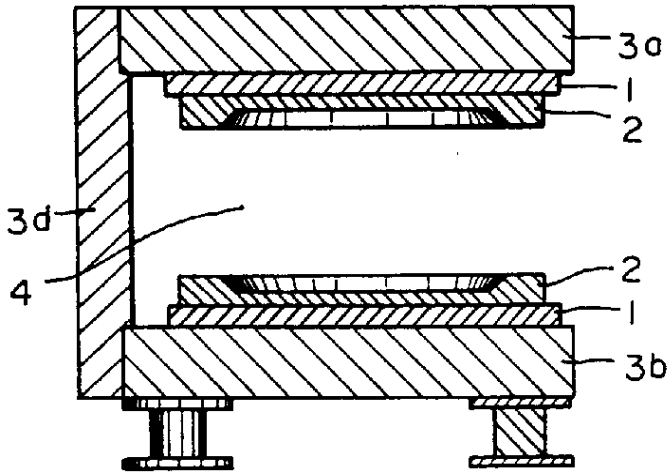
先有技术

图 6 （B）



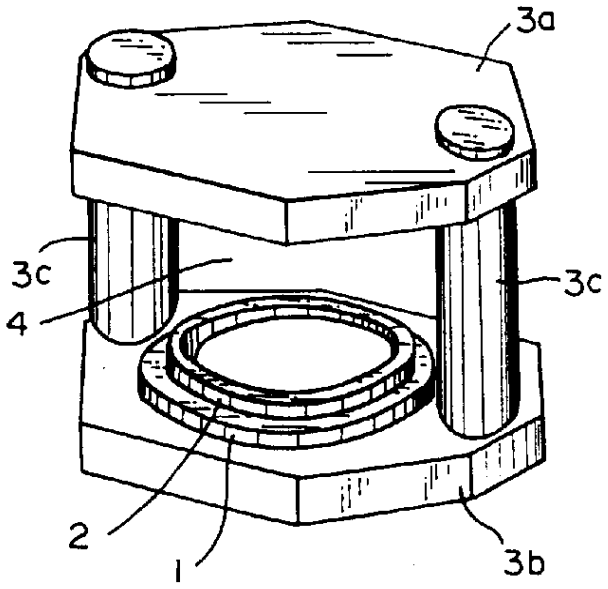
先有技术

图 7



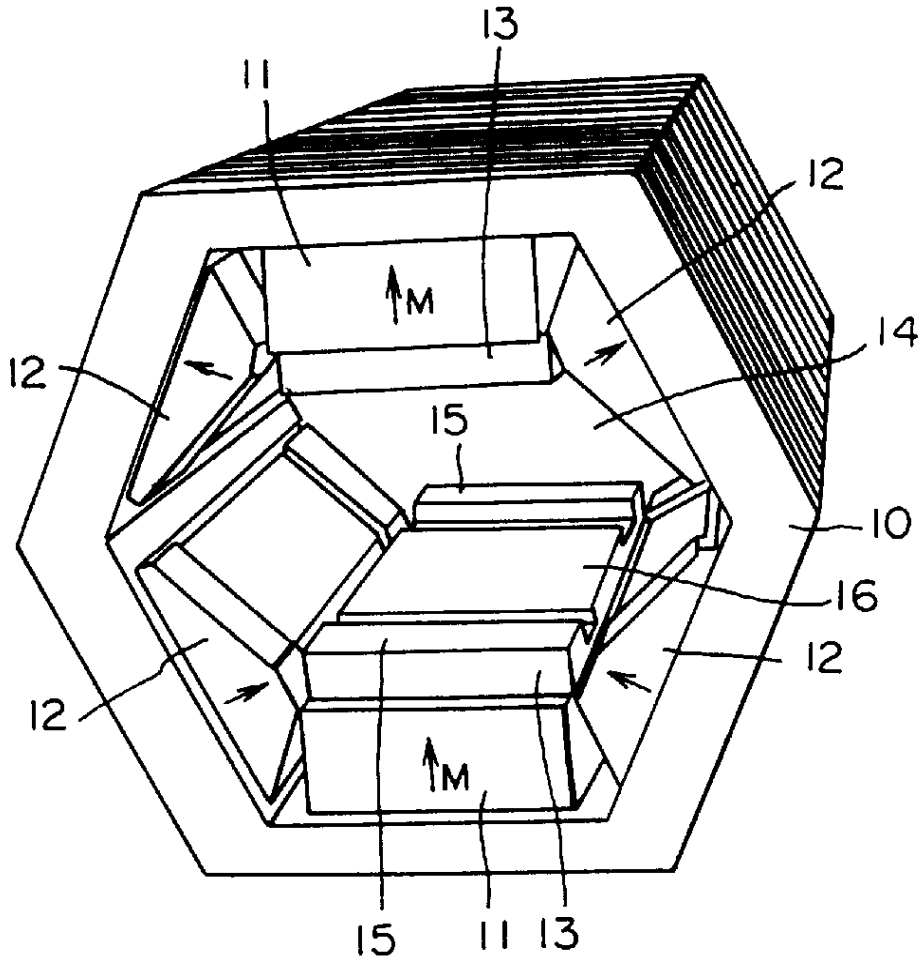
先有技术

图 8



先有技术

图 9



先有技术

图１０（A）

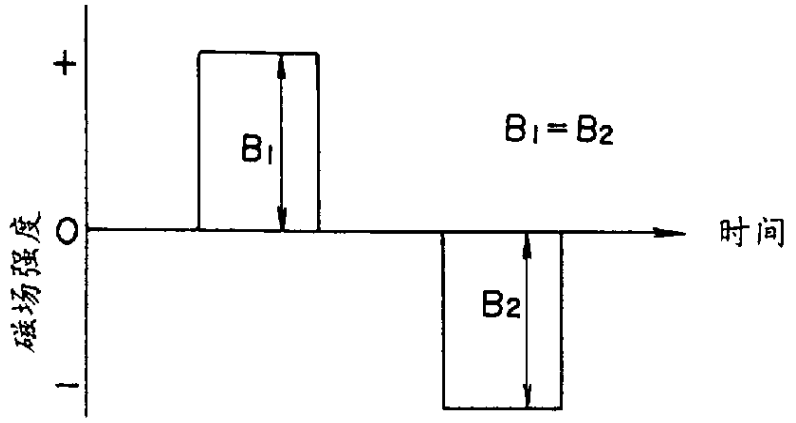


图１０（B）

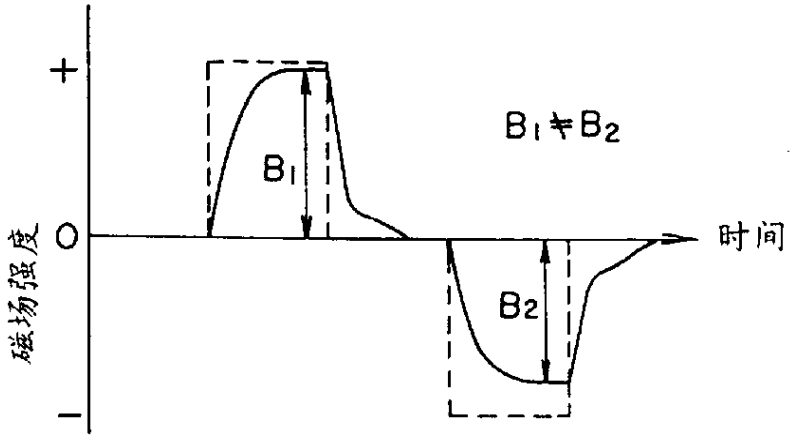


图１０（C）

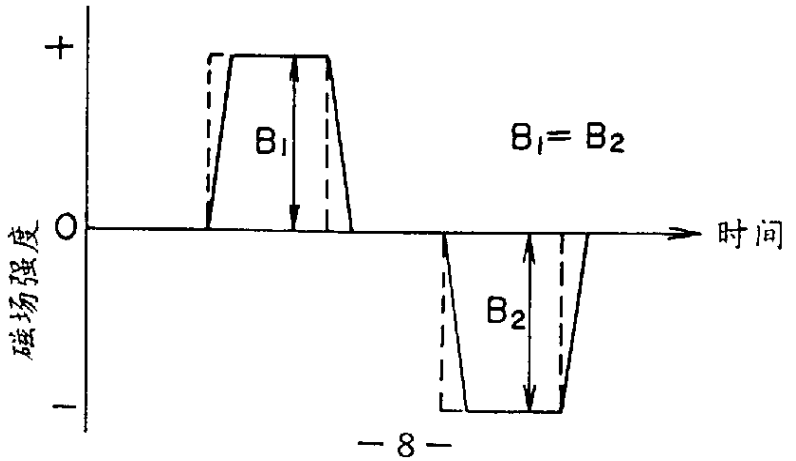


图 1 1 （A）

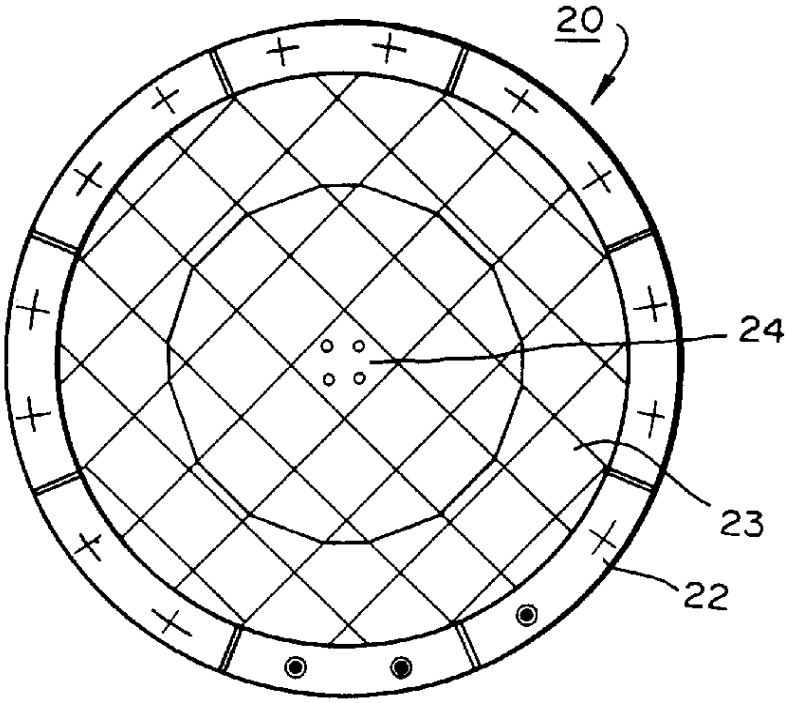
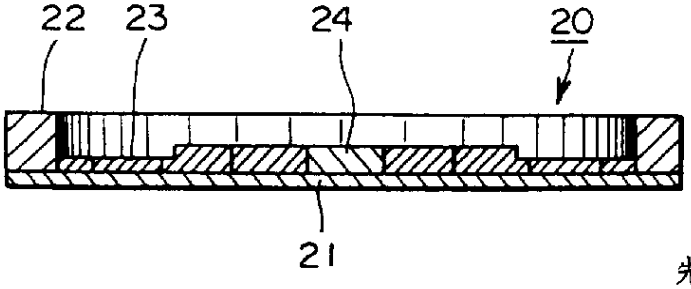


图 1 1 （B）



先有技术

图１２

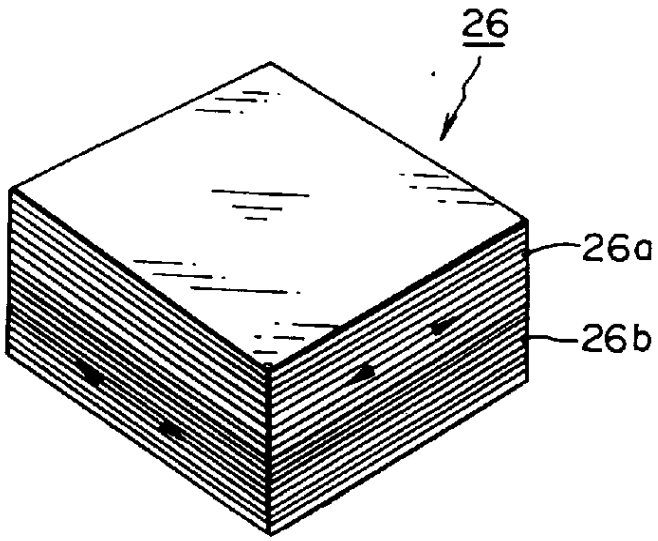


图１３

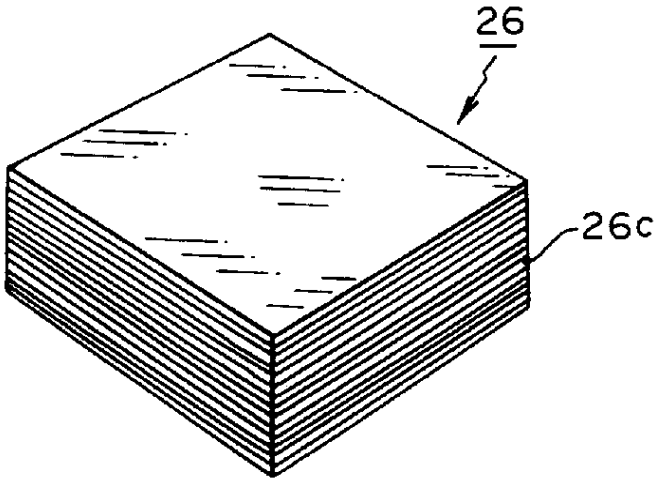


图 1 4

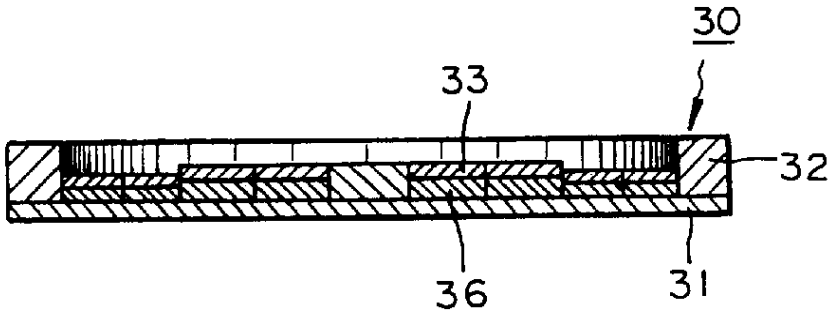


图 1 5

