



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106796835 B

(45)授权公告日 2019.05.21

(21)申请号 201580055404.3

(22)申请日 2015.08.12

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106796835 A

(43)申请公布日 2017.05.31

(30)优先权数据
62/036,449 2014.08.12 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.04.12

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2015/068599 2015.08.12

(87)PCT国际申请的公布数据
W02016/023961 EN 2016.02.18

(73)专利权人 ABB瑞士股份有限公司
地址 瑞士巴登

(72)发明人 R.西蒙 J.贾斯莫维
D.特雷梅林格 F.格雷尤特
E.约翰斯森 T.托姆塞

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001
代理人 郑浩 姜甜

(51)Int.Cl.
H01F 1/08(2006.01)
H01F 1/22(2006.01)
H01F 41/02(2006.01)

(56)对比文件
JP 特开2013-110225 A, 2013.06.06, 说明书第73、103-105、111-123、139、140段, 图2、6.
审查员 赖风平

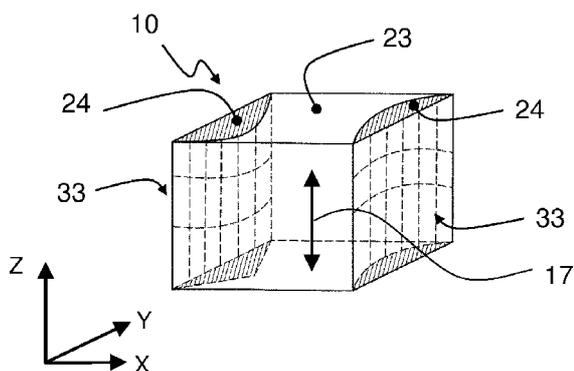
权利要求书3页 说明书18页 附图10页

(54)发明名称

具有不同磁性质的区域的磁体以及用于形成这种磁体的方法

(57)摘要

本申请涉及具有磁体主体(10)的磁体以及用于制造这种磁体的方法。磁体主体(10)具有第一磁性质的第一区域(23)和第二磁性质(其与第一性质不同)的第二区域(24)。由于磁体主体(10)的制造过程,磁体主体(10)中的第一区域(23)和第二区域(24)的相对位置可以是自由预先确定的。



1. 一种具有整体的磁体主体 (10, 21, 27, 39, 50) 的磁体 (1), 包括
第一区域 (23), 具有第一磁性质,
第二区域 (24), 具有与所述第一磁性质不同的第二磁性质, 其中所述第一区域 (23) 具有与所述第二区域 (24) 的值不同的剩磁值和矫顽性中的至少一个,
并且其中所述磁体主体 (10, 21, 27, 39, 50) 内的所述第一区域 (23) 和所述第二区域 (24) 的位置是能够自由预先确定的,
并且其中所述第一区域 (23) 具有与所述第二区域 (24) 不同的微观结构,
并且其中所述第一区域中的磁性晶粒 (9) 的平均大小大于所述第二区域中的磁性晶粒的平均大小;
其中所述第一区域 (23) 包括具有RE、铁和硼的第一成员的组成,
其中所述第一成员中的RE是镧系的稀土元素,
并且其中所述第二区域 (24) 包括具有RE、铁和硼的第二成员的组成,
其中所述第二成员中的RE包括所述第一成员中不存在的镧系的至少一个稀土元素。
2. 如权利要求1所述的磁体, 其中所述第一区域中的磁性晶粒的所述平均大小比所述第二区域中的磁性晶粒的所述平均大小要大至少20%。
3. 如权利要求1所述的磁体, 其中所述第一区域中的磁性晶粒的所述平均大小比所述第二区域中的磁性晶粒的所述平均大小要大至少50%。
4. 如权利要求3所述的磁体, 其中所述第二区域中的平均磁性晶粒具有至少2:1的相对于其重心的最长尺寸与相对于所述重心的最短尺寸的比率。
5. 如权利要求1所述的磁体, 其中所述第二区域 (24) 是所述磁体主体 (10, 21, 27, 39, 50) 的边缘区域 (33) 和角区域 (34) 的至少一个,
并且其中垂直延伸到所述磁体主体 (10, 21, 27, 39, 50) 的边缘区域 (33) 和角区域 (34) 中的至少一个的表面的所述第二区域 (24) 的区域深度是至少1 mm。
6. 如权利要求1所述的磁体, 其中所述第二区域 (24) 是所述磁体主体 (10, 21, 27, 39, 50) 的边缘区域 (33) 和角区域 (34) 的至少一个,
并且其中垂直延伸到所述磁体主体 (10, 21, 27, 39, 50) 的边缘区域 (33) 和角区域 (34) 中的至少一个的表面的所述第二区域 (24) 的区域深度是至少3 mm。
7. 如权利要求1所述的磁体, 其中所述第二区域 (24) 是所述磁体主体 (10, 21, 27, 39, 50) 的边缘区域 (33) 和角区域 (34) 的至少一个,
并且其中垂直延伸到所述磁体主体 (10, 21, 27, 39, 50) 的边缘区域 (33) 和角区域 (34) 中的至少一个的表面的所述第二区域 (24) 的区域深度是至少8 mm。
8. 如权利要求1所述的磁体, 其中所述第二区域 (24) 是所述磁体主体 (10, 21, 27, 39, 50) 的边缘区域 (33) 和角区域 (34) 的至少一个,
并且其中当从主体厚度 (55) 延伸的构建方向 (Z) 来看时, 所述磁体主体 (10, 21, 27, 39, 50) 基本上具有棱柱总体形状, 其具有以主体长度 (53) 和主体宽度 (54) 的矩形截面,
其中当从所述主体厚度 (55) 延伸的方向来看时, 所述第二区域 (24) 是基本上管状的, 具有环形截面, 其中所述环形截面的外轮廓匹配所述矩形截面的外轮廓。
9. 如权利要求1所述的磁体, 其中所述第一区域 (23) 和所述第二区域 (24) 中的至少一个包括分别在所述第一区域 (23) 和/或所述第二区域 (24) 的至少两个相邻内层 (2) 内的电

绝缘层(28,29,30)。

10. 如权利要求1所述的磁体,其中通过选择性激光熔融、通过电子束熔融、通过火花等离子体烧结、通过激光熔覆、通过等离子体粉末熔覆或者通过热喷射来产生所述磁体主体。

11. 如权利要求1所述的磁体,其中所述第一成员中的RE包括铈和钕中的至少一个。

12. 如权利要求1所述的磁体,其中所述第一区域(23)包括基于所述第一成员的硬磁体,以及

其中所述第二区域(24)包括基于所述第二成员的硬磁体,以及

其中与所述第一区域(23)中的所述RE的重量百分比相比,所述第二区域(24)中的所述RE的重量百分比要高至少20%。

13. 如权利要求11至12中任一项所述的磁体,其中所述第二区域(24)的所述平均磁性晶粒大小低于4微米。

14. 如权利要求1所述的磁体,其中所述第一区域(23)的所述平均磁性晶粒大小低于20纳米或者高于50微米。

15. 如权利要求1所述的磁体,其中所述第一区域(23)和所述第二区域(24)中的至少一个包括在所述磁体主体的周边处的端接层。

16. 如权利要求15所述的磁体,其中所述端接层或附加的端接层是电绝缘的。

17. 如权利要求1所述的磁体,其中所述磁体主体具有作为多晶微观结构、非晶微观结构和纳米晶微观结构中的至少一个的结构。

18. 如权利要求17所述的磁体,其中所述第一区域具有小于1 kA/m的矫顽性或者大于1 kA/m但小于10 kA/m的矫顽性,并且其中所述第二区域具有大于10 kA/m的矫顽性。

19. 一种包括如权利要求1至18中任一项所述的至少一个磁体(1)的电气装置(45)。

20. 一种产生具有包括具有第一磁性质的第一区域(23)和具有与所述第一磁性质不同的第二磁性质的第二区域(24)的磁体主体的整体磁体的方法,其中所述第一区域(23)具有与所述第二区域(24)的值不同的剩磁值和矫顽性中的至少一个,并且其中所述第一区域(23)具有与所述第二区域(24)不同的微观结构,并且其中所述第一区域(23)中的磁性晶粒(9)的平均大小大于所述第二区域(24)中的磁性晶粒的平均大小,其中所述第一区域(23)包括具有RE、铁和硼的第一成员的组成,其中所述第一成员中的RE是镧系的稀土元素,并且其中所述第二区域(24)包括具有RE、铁和硼的第二成员的组成,其中所述第二成员中的RE包括所述第一成员中不存在的镧系的至少一个稀土元素,所述方法包括下列步骤:

a) 通过在待构建的所述磁体的第一预定区域上各沉积多个第一粉末部分(8),并且通过将所述多个第一粉末部分(8)相互熔合使得形成磁性晶粒来形成属于所述第一区域(23)的第一内层(2);

b) 通过在待构建的所述磁体的第二预定区域上各沉积多个第二粉末部分,并且通过将所述多个第二粉末部分相互熔合使得形成磁性晶粒来形成属于所述第二区域(24)的第二内层(2);

c) 通过在待构建的所述磁体的第三预定区域上各沉积多个第一粉末部分,并且通过将所述多个第一粉末部分相互熔合使得形成磁性晶粒来在所述磁体的构建方向上在所述第一内层之上形成属于所述第一区域的第三层;

d) 通过在待构建的所述磁体的第四预定区域上各沉积多个第二粉末部分,并且通过

将所述多个第二粉末部分相互熔合使得形成磁性晶粒来在所述磁体的所述构建方向上在所述第二内层之上形成属于所述第二区域的第四层。

21. 如权利要求20所述的方法,其中通过对所述第一粉末部分和所述第二粉末部分施加机械负荷,并且使高电流经过所述第一粉末部分和所述第二粉末部分来实现熔合。

22. 如权利要求20至21中任一项所述的方法,还包括将所述第一粉末部分和所述第二粉末部分或者所熔合的第一粉末部分和所述第二粉末部分暴露于磁场的步骤。

23. 如权利要求20至21中任一项所述的方法,还包括在待构建的所述磁体的预定另外区域中以如下方式布置电绝缘层(28,29,30,37)的步骤:

- a) 在所述第一内层与所述第三层之间;或者
- b) 在所述第二内层与所述第四层之间;或者
- c) 在所述第一内层与所述第三层之间以及在所述第二内层与所述第四层之间,或者
- d) 在所述第一内层与所述第二内层之间;或者
- e) 在所述第三层与所述第四层之间;或者
- f) 按照a)至e)的任何组合。

具有不同磁性质的区域的磁体以及用于形成这种磁体的方法

技术领域

[0001] 本发明主要涉及磁体以及用于形成这种磁体的方法。下文中，术语“磁体”被理解为能够产生磁场的对象。

背景技术

[0002] 用于能量应用的磁性材料通常划分为两个主要编组：硬磁体（常常称作永磁体）和软磁体。

[0003] 硬磁体通常具有矫顽性值 $H_c > 10-100$ kA/m，而对于软磁体，矫顽性通常为 $H_c < 1$ kA/m。在这些编组之间，半硬磁性材料包含其矫顽性（ H_c ）处于软磁性与硬磁性材料的矫顽性之间的所有合金。

[0004] 永磁体（以下缩写为“PM”）通常用于电气机器（马达、发电机）中。当今最高级的永磁体基于稀土（RE）金属。术语“稀土”通常缩写为“RE”。RE是周期元素表中的镧系的元素中的一个。所述镧系包括化学元素镧（La）、铈（Ce）、镨（Pr）、钕（Nd）、钷（Pm）、钐（Sm）、铕（Eu）、钆（Gd）、铽（Tb）、镝（Dy）、钬（Ho）、铒（Er）、铥（Tm）、镱（Yb）、镱（Lu）。

[0005] RE基磁体是特别重要的，因为它们允许具有高性能、高能量效率以及尺寸的总体紧凑性的机器设计。典型稀土基永磁体材料是基于Nd-Fe-B、(Nd-Dy)-Fe-B和Sm-Co的金属间合金。一系列的附加化学元素能够存在于磁体主体中，以便优化特定性质，并且基本元素的比率也能够以一种类型的磁体中变化。

[0006] 烧结的密集稀土基永磁体材料展现最高磁性能、即最高矫顽性 H_c 和最高剩磁 B_r 。稀土基永磁体材料的缺点在于，它们在于所使用稀土元素是昂贵的，在于它们的份额（share）形成用于制造磁体主体的总成本的实质部分。那个缺点特别是对包含重稀土元素（以下称作HRE元素）的那些磁体主体成立。HRE元素是铽、镝（Dy）、钬（Ho）、铒（Er）、铥（Tm）、镱（Yb）和镱（Lu）。

[0007] 高总成本不仅取决于稀土金属的高原材料成本，而且取决于很复杂的处理路线。由于RE金属与氧的高反应性，所有处理步骤必须在保护气氛下执行，以便避免对磁性质的有害影响。为了实现最大磁性能，能够通过压制步骤之前和期间施加高磁场来定向颗粒。与非定向等级相比，这类制造的磁体的性能通常是较高的。用于RE基永磁体的所有已知粉末冶金处理路线局限于很简单几何结构的制造，因为成型基于单轴模压步骤中的简单单轴模压、等静压或热变形。极为简单的几何特征如略弯曲表面而不是平坦表面已经伴随磁体的明显更高价格发生，因为必须采用昂贵的附加加工步骤（硬材料的研磨）。简单几何结构的这种局限性对于高级的更能量有效的机器的设计（其将获益于更复杂成型的磁体）是大局限性和缺点。

[0008] 电气机器应用的PM材料的还有另一个重要性质是存在最大操作温度。RE基PM材料在升高温度遭受退磁。在Nd-Fe-B系统中，采用重稀土元素（典型的4至6 at.% Dy）对Nd的部分置换能够将操作温度从通常的100°C（对于正常Nd-Fe-B）扩展到大约150至200°C（对于Dy掺杂Nd-Fe-B）。在具有增加的功率密度的高级机器设计中，通常期望这种扩展的操作温度。

但是,改进温度稳定性伴随高成本发生。由于重RE金属的格外高的成本,与常规RE基PM相比,这类Dy掺杂或者其他重RE掺杂的磁体的成本明显要高。

[0009] RE基PM材料的另外的问题是其对于腐蚀的固有高感受性。为了实现长期应用,必须应用于改进腐蚀行为或保护涂层的合金元素。

[0010] 克服这个缺点的一种方式在于在其中增强磁特性实际被要求并且一旦内建于电气装置则是必不可少的磁体主体的那些区域中有选择地布置昂贵HRE元素,同时使磁体的其余部分保持为基本上没有HRE。

[0011] 通过RE元素的选择性提供来降低磁体的总成本的一种方式在于沿磁体主体的晶界来扩散镝(Dy)。由钕铁硼合金(NdFeB)所组成的磁体主体首先通过本领域中已知的常见方法来烧结。在第一步骤中形成磁体主体之后,在第二步骤上,磁体主体在其外表面(其中不期望重RE性质)覆盖有保护层,而期望具有重RE性质的区域在磁体主体的周边、即外表面上没有覆盖保护层。在第三步骤中,重RE材料例如经由包含镝的蒸汽来沉积在磁体主体的表面(其没有被保护层所覆盖)上。磁体然后在较高温度下退火,以便实现沿磁体主体内部的晶界的重RE的扩散。扩散Dy取代NdFeB晶粒中的Nd,以及被逐出的Nd原子在新形成的(Nd, Dy)FeB晶粒周围形成连续层。这类层还将该晶粒与相邻晶粒磁性隔离。通过磁性主体内部的这个规程,与第二区域相比具有不同磁性质的第一区域、即接近磁体主体的外表面/周边的区域。与仅按照第一步骤所产生的磁体主体相比,这个过程最终引起超过50%的矫顽性的改进,而没有改变剩磁。

[0012] 那种方法的第一问题在于,第二区域只能处于主体的表面处。那种方法的第二问题在于,只能实现具有薄的总厚度的第二区域。因此,极大限制磁体的第二区域的设计自由度。

[0013] 另一种方式在于采用加性制造方法。加性制造是一种新兴技术,其允许在逐层构建过程中直接从CAD设计数据来制造复杂成型的部件。这使得它成为在从设计到最终组件的极短时间周期中特别对于复杂形状的有吸引力制造方法。对于金属,组件的构建能够通过采用激光束(SLM:选择性激光熔融)或电子束(EBM:电子束熔融)在粉末床中实现。该方法近来受到许多关注。但是,目前仅存在可用和已知的有限数量的材料(总共大致低于20种不同材料),这能够通过这种方法来引起。

[0014] 当今用于金属的SLM和EBM的实质局限性在于,化学合金组成和材料微观结构无法局部变化和控制(在微观结构级的小体积元素中)。因此,不可能在3D组件的构建过程期间构建3D设计的多成分微观结构。

[0015] 在W02013/185967 A1中公开用于产生永磁体的另一种方式。按照这种方式的方法将聚焦能量束(激光束或电子束)用于粉末的选择性烧结。该过程的主要目标是要保存给料的粉末颗粒的原始微观结构和形态(形状)。这通过在烧结过程中选择温度-时间组合来实现,这仅引起粉末颗粒之间的烧结颈的形成,因而避免颗粒内的微观结构变化(例如晶粒生长、再结晶),并且避免颗粒的形态变化。这意味着,该方法自然局限于烧结的早期阶段,其中仅形成烧结颈。在烧结的这个早期阶段,通过体积收缩和孔填充(pore filling)对粉末的实质稠化没有发生。因此,所述方法始终引起最终微观结构中的大量残余孔隙度。典型值高于孔隙度的30至40 vol.%。

[0016] 这种方法的主要缺点在于,颗粒的晶体微观结构和形态的非预期变化只能够通过

高残余孔隙度、例如30 vol.%的磁孔隙度的代价来实现。在W02013/185967 A1的实施例中，以低于10 wt.% (重量百分比) 的分数来添加另外的非金属材料、例如玻璃或聚合物，使得磁颗粒的球形形态和微观结构仍然被保存。那种方法引起与聚合接合磁体类似和可比较的微观结构和性质。另外，该方法具有因高孔隙度而生成具有极低机械强度和韧性的材料的缺点。另外，当颗粒通过三维网络中的烧结颈来连接时，因烧结颈中的高传导性而无法有效地降低涡流。因此，孔隙度没有显著改进涡流损耗。与常规烧结的密集磁体相比，通过W02013/185967 A1所得到的磁体的能量密度(BH) max和机械性能是低的。因此，W02013/185967 A1的磁体需要更大体积用于与常规烧结的密集磁体相比的相同性能。这对于其中具有高能量密度的紧凑设计是优选的所有种类的应用(特别是对于电气机器)是实质缺点。

[0017] 聚合物接合RE磁体由聚合物基体中的磁颗粒组成(基于RE永磁体)。对于聚合物接合RE磁体，很简单磁体几何结构的局限性能够部分克服，因为例如能够应用注入模制或其他聚合物成型方法。但是，这些磁体具有实质更低的磁性能(更低能量密度、更低极化、更低矫顽性)的缺点，因为那些磁体包含大量聚合物(通常远高于30 vol.%)。此外，机械性质(强度、蠕变)和最大操作温度与烧结的RE永磁体相比实质上更低。

[0018] 软磁性材料对变压器、马达和发电机中的电气应用起关键作用。不同合金组成中的各种材料等级是可用的，如多晶(例如，Fe、Fe-Si、Ni-Fe、Co-Fe基)、非晶(例如，Fe-B-Si、Fe-Ni-B-Si、Fe-Si-B-P-Nb)和纳米晶(例如，Fe-Cu-Nb-Si-B)材料。由于其适度成本，结晶的Fe-Si基电气片(electric sheet)(具有典型值3% Si)广泛用于非定向和晶粒定向等级中。为了降低涡流损耗，磁芯通常由许多薄片(典型的片厚度0.3 - 0.5 mm)的层状叠层来构建。片通过与热处理步骤相结合的精致热和冷轧机技术来产生。片压印成预期尺寸，并且通过在片之间施加陶瓷或聚合物层电隔离。层状叠层必须通过粘合剂按照有用方式在机械上夹紧或接合。从薄片来构建层状芯的整个过程是精致的、费时的并且高费用的。另外，压印过程或者电气片的任何变形使磁性质降级。因此，必须执行附加退火处理，以便通过所生成内应力的释放部分恢复初始性质。已知芯损耗能够一般通过将片厚度减小到典型值0.1 mm的最小值来降低。但是，这具有层状磁芯的制造中的附加成本和复杂度的缺点。

[0019] 快速凝固非晶和纳米晶SM材料提供最低芯损耗，并且提供最高能量效率。这些材料的主要缺点是其高材料和生产成本。为了实现非晶或纳米晶状态，熔融材料以极高冷却速率(通常为 $10^4 - 10^6$ K/s)从液态快速凝固。这能够仅通过在旋转铜轮上浇铸极细丝带(ribbon)(典型值20 - 50 μm)来实现。作为缺点，基于这个极细丝带来产生磁芯是精致的和高费用的。非晶和纳米晶软磁体材料的另一个缺点在于其对腐蚀的通常高感受性。为了保护丝带免受腐蚀并且降低涡流损耗，必须施加个别丝带的陶瓷或聚合涂层。

[0020] 总之，当今软磁芯技术的基本缺点是精致和高费用制造过程，这是分层片材料概念的结果。此外，只能够制造相当简单/基本芯几何结构，这彻底限制高级、更能量有效的电气装置的设计中的自由度。

发明内容

[0021] 本发明的一个目的在于提供一种磁体，其允许第一区域和第二区域的更大设计自由度，并且与常规磁体相比实现磁体主体的更复杂几何结构。

[0022] 这个目的通过按照以下基本实施例的磁体(其具有包括具有第一磁性质的第一区

域的磁体主体)来实现。具有与第一性质不同的第二磁性质的第二区域。磁体主体内的第一区域和第二区域的位置可以自由预先确定的。

[0023] 由于新方法,产生磁体,磁体主体的设计自由度极大地增加。与已知磁体制造方法相比,例如只在一且内建于电气装置(例如马达)就实际需要的位置来分配第二区域成为可能。取决于与第一区域相比的第二区域的大小和形状,彻底降低磁体主体中的稀土元素的RE含量使得磁体主体的总成本能够彻底降低成为可能。而且,与对于已知磁体主体相比在空间上更扩展的第二区域能够以基本上没有额外工作而实现。

[0024] 第二优点在于,按照本申请的磁体主体的总磁性能(效率)能够远远比具有相同外尺寸的常规产生的磁体主体要高,如将通过示例来说明。在瞬变条件期间,场脉冲趋向于相对于磁化方向将磁体中的通量减少为负值。在具有延长形状的磁体主体的远端、即末端区域中流动的涡流保护末端部分之间的中心区域免受那个脉冲。这种保护的不利面在于,牺牲磁体主体的远端,因为它们将在电气装置的使用中在某个时间量之后退磁,使得它们能够不在有助于总磁性能。在常规电气装置中,其不可避免地导致磁体主体必须比实际所要求更大地设计以便确保电气装置的令人满意持久使用的结果。与其完全不同允许新磁体分配远端的区域中的第二区域以及中心区域中的第一区域。如果在这个示例中第二区域具有比第一区域要高的矫顽性,则不需要在电气装置的长使用期限之后也在这种大程度上牺牲远端区域用于确保所要求的最小磁性能。因此,变得有可能的是与上述常规磁体主体相比降低磁体主体的总体尺寸或者增强总体磁性能,如果上述常规磁体主体的相同外尺寸在电气装置中可用的话。如能够看到,本磁体主体能够实质促进电气装置的小型化。

[0025] 以更普通的术语来表述,具有与第二区域的值不同的矫顽性和剩磁值中的至少一个的第一区域能够被设计,使得在高端应用中也仅要求最小RE含量。

[0026] 为了调谐磁性能,第一区域具有与第二区域不同的微观结构已经证明是有利的。更准确来说,已经证明,具有第一区域中的磁性晶粒的平均大小(其比第二区域中的磁性晶粒的平均大小要大)的磁体是期望的。如果第一区域中的磁性晶粒的平均大小比第二区域中的磁性晶粒的平均大小要大至少20%,则实现根据可实现磁化值的值得注意的满意结果。由于第二区域中与第一区域中的磁性晶粒的平均大小的差证明是强度量,所以如果第一区域中的磁性晶粒的平均大小比第二区域中的磁性晶粒的平均大小要大至少50%,则能够实现很满意的磁体。

[0027] 除了第一区域和第二区域中的磁性晶粒的大小之外,证明磁性晶粒的总体平均形状也起到作用。更一般来说,如果第一区域中的磁性晶粒的平均形状与第二区域中的磁性晶粒的平均形状是不同的,则由于总体磁性能是有利的。如果第二区域中的磁性晶粒的平均形状相对于第一区域中的磁性晶粒的平均形状更延长至少30%,则实现根据可实现磁化值的值得注意的满意结果。第二区域中的磁性晶粒的延长平均形状又能够称作磁性晶粒的圆柱形状。术语‘延长’的备选描述可在于,第二区域中的平均磁性晶粒具有至少2:1的相对于其重心(gravity center)的最长尺寸与相对于重心的最短尺寸的比率。

[0028] 新制造方法还允许调谐磁体主体,使得第一区域的化学组成与第二区域的化学组成有所不同。这样,第一区域中的磁性晶粒具有与第二区域中的磁性晶粒不同的化学组成成为可能。取决于要求,例如第二区域位于磁体主体的周边处,并且可包括如镉的化学元素,其赋予第二区域比定位成被第二区域所包围的第一区域更好的矫顽性质。

[0029] 取决于本实施例,第二区域能够是磁体主体的边缘区域或者角区域。还能够实现其组合。术语‘角区域’被理解为沿边界或脊(ridge)(其中若干壳表面彼此相接)延伸的磁体主体的区域。与其不同的,术语‘边缘区域’被理解为在磁体主体的壳表面之上、例如布置成彼此相对的两个横向表面之上延伸的区域。

[0030] 新制造方法还提供基本上自由分级。与使其中稀土元素进入磁体主体的周边区域的已知扩散技术相比,现在更为自由地设计第二区域的厚度成为可能。取决于磁体的所要求的磁性质,与磁体主体的边缘区域和角区域中的至少一个的表面垂直延伸的第二区域的第二区域深度为至少1 mm,在实施例中为至少3 mm,以及在还有其他实施例中为至少8 mm。

[0031] 如同许多情况中一样,期望磁体主体仅在其所有横向表面上而不在其底部表面和其顶部表面上具有特定、即分级磁性质。如果从在其上主体厚度延伸的方向、即构建方向来看时,磁体主体基本上具有具有矩形截面(其具有主体长度和主体宽度)的棱柱总体形状,则良好结果是可实现的。第二区域是基本上管状的,并且从在其上主体厚度延伸矩形截面的方向来看时具有环形截面。术语环形将不是狭义地被理解例如为仅囊括圆形截面,而是广义地被理解为也涵盖多边形截面。环形截面的外轮廓匹配矩形截面的外轮廓。最小环厚度与磁体主体的主体厚度没有偏离超过20%。术语‘最小环厚度’被理解为环形第二区域在其最薄点的最小方向。示例并不局限于立方体状几何结构,而是适用于磁体主体的更复杂形状。

[0032] 与从变压器应用等已知的状况类似,可期望不仅调谐磁性质,而且调谐绝缘性质。这能够进行,因为第一区域和第二区域的至少一个包括分别在第一区域和/或第二区域的至少两个相邻内层内的电绝缘层。使用术语‘层’,因为它具有比较大的表面和比较小的厚度。取决于电绝缘层的化学和物理性质,它能够用于磁通路的调谐,因为它帮助引导通量线。这类绝缘层的优点在于,涡流的形成能够在磁体的操作状态中抑制或者至少阻碍。抑制或者至少阻碍/限制磁体的操作状态中的涡流的形成在软磁体应用中是特别有利的。

[0033] 平面扩展以及绝缘层的厚度取决于磁体的预计应用。

[0034] 取决于预计性质,电绝缘层包括电绝缘合成材料、金属氧化物、金属碳化物、金属氮化物、陶瓷、玻璃或者甚至其混合物。还有可能构建具有两个不同绝缘层的磁体。无论这些层是直接一个在另一个之上地施加还是无论存在位于两个相同或类似绝缘层之间的磁性晶粒的若干层取决于对磁体的要求。

[0035] 如果第一区域或第二区域或者第一区域以及第二区域具有至少85体积百分比的每给定体积的磁性晶粒的填充度、即每给定体积的理论密度的至少85%,则远远比常规烧结的磁体主体中要高的矫顽性值是可用的。换言之,给定体积中的空隙能够对给定体积最大消耗15%。如果每给定体积的磁性晶粒的填充度是至少95体积百分比,则优良矫顽性和剩磁性质是可实现的。这类填充值远高于激光烧结的磁体主体的填充值。

[0036] 所有上述优点是可实现的,因为磁体主体通过选择性激光熔融(SLM)、通过电子束熔融(EBM)、通过火花等离子体烧结(SPS)、通过激光熔覆(cladding)、通过等离子体粉末熔覆或者通过热喷射来产生。这些生产方法的每个留下磁体主体中的特定性质,其允许一旦产生磁体主体就检测制造方法。

[0037] 上述生产过程还允许形成几乎任何形状的磁体。到目前为止,磁性主体的总体形状限制到比较原始和基本几何结构。现在有可能设计磁体,使得它具有自由形式形状。这类

自由形式形状的示例是弧形状、具有蘑菇形截面的磁体等,其与从本申请人在提交本申请时已知的绝大多数电气装置已知的盒形磁体主体是不同的。

[0038] 换言之,上述制造方法实现轮廓、形状和大小设计的全面灵活性。虽然一些方法如SPS可具有更多限制,但是复杂形状例如如在电动机中所需的具有一个轴向方向的几何结构完全是可行的。

[0039] 上述制造方法还允许实现夹合层序列,其根本不能采用常规制造方法、特别是不能按照经济方式来实现。在磁体主体的示范实施例中,第一区域形成为第一块,其中第二区域形成为第二块,并且其中第二块附连到第一块。术语‘块’将不是以狭义的方式被理解为仅囊括立方体形状。这些块的每个包括多个层。此外,块的序列并不局限于对其横向地垂直(即,在3D构建方法的制造序列中)或水平延伸。另外,现在也能够实现具有水平以及垂直延伸层序列的混合实施例。

[0040] 在永磁体的情况下,附加性质是可实现的,例如以下说明。

[0041] 如果第一区域包括基于第一编组的成员的硬磁体(第一编组包括组成a)至g)中的一个),则有利磁体是可实现的,而所述组成:

[0042] a) 包含铝、镍和钴(AlNiCo);

[0043] b) 包含钐和钴(SmCo);

[0044] c) 包含钐和铁(SmFe);

[0045] d) 包含钐、铁和氮(SmFeN);

[0046] e) 包含铁和氮(FeN);

[0047] f) 包含锰、铝和碳(MnAlC);

[0048] g) 包含锰、锡和钴(MnSnCo);

[0049] h) 包含锰和铋(MnBi);

[0050] g) 包含硬铁氧体;

[0051] h) 包含RE、铁和硼(REFeB);

[0052] i) 包含RE和铁和碳(ReFeC)。

[0053] 具体来说,如果第一编组的成员是组成a)或e)或g),则廉价磁体是可实现的。

[0054] 硬铁氧体如锶铁氧体 $[SrFe_{12}O_{19} (SrO \cdot 6Fe_2O_3)]$ 常常用于小电马达、微波装置、记录媒体、磁光媒体、电信和电子工业中。钡铁氧体 $BaFe_{12}O_{19} (BaO \cdot 6Fe_2O_3)$ 是用于永磁体应用的常见材料。钡铁氧体是健壮陶瓷,其对水分是稳定的并且是耐蚀的。它们用于例如喇叭磁体中或者用作例如磁条卡上的磁记录的媒介。钴铁氧体 $CoFe_2O_4 (CoO \cdot Fe_2O_3)$ 用于磁记录的一些媒体中。

[0055] 在预期的情况下,第二区域可包含基于第二编组的成员的硬磁体,而所述第二编组包括第一区域中不存在的第一编组的所有成员。在示范实施例中,第一成员包括AlNiCo,以及第二成员包括NdFeB。

[0056] 在针对磁体的总成本的有利实施例中,第一区域包括具有RE、铁和硼(REFeB)的第一成员的组成,其中RE的第一成员是镧系的一个或若干稀土元素/多个元素。第一成员没有包含镧系的所有元素。第二区域包括具有RE、铁和硼(REFeB)的第二成员的组成,其中RE的第二成员包括第一成员中不存在的镧系的至少一个稀土元素。

[0057] 如果要求,例如,如果第二区域完全囊括第一区域,则第二区域可包括如Co、Ti、Zr

的附加化学元素,以用于增强耐蚀性。

[0058] 由于重稀土元素 (HRE) 提供比镧系的其余元素甚至要高的矫顽性和剩磁值,所以如果RE的第二成员包括至少一个重稀土元素 (HRE),则是有利的。

[0059] 此外,如果RE的第一成员包括铈 (Ce)、钕 (Nd) 或者Ce和Nd,则廉价磁体是可实现的。

[0060] 作为备选方案,磁体的第一区域包括基于通过包括RE、铁和硼 (REFeB) 的组成所形成的第一编组的成员的硬磁体,而第二区域包括基于第一编组与第一区域相同的成员的硬磁体。在这个实施例中,其中与第一区域中的RE的重量百分比相比,第二区域中的RE的重量百分比要高至少20%。

[0061] 如果第二区域的平均磁性晶粒大小低于4微米,则良好磁体是可实现的,而商业磁性晶粒的平均磁性晶粒大小当前大于10微米。

[0062] 不管磁体具有软磁类型还是永磁类型的事实,其性质能够进一步如下分级。

[0063] 对于软磁体,如果第一区域的平均磁性晶粒大小低于20 nm或者高于50 微米,则是有利的。

[0064] 不仅在软磁体应用中,而且在永磁体应用中,如果第一区域和第二区域的至少一个在磁体主体的周边处包括端接层,则能够是期望的。相对于磁性主体那个在几何上最外面的层能够绝缘并且提供防腐,或者能够是导电的,以便提供针对经由感应涡流的第二和/或第一区域的退磁的磁筛选,并且同时还能够是防腐层。取决于要求,端接层能够是导电的。

[0065] 如上所述,存在一些实施例,其中第一区域和第二区域的至少一个包括分别位于第一区域和/或第二区域的至少两个相邻内层之间的电绝缘层。这种实施例可用于抑制或者至少阻碍/限制磁体的操作状态中的涡流的形成,特别是在软磁体应用中。

[0066] 沿磁体的周边添加附加高导电层可促进降低损耗。这种实施例的另外的优点可在于,这个层还沿磁体的轮廓/周边来形成,使得沿这些边缘的加工的另外的步骤对于达到磁体主体的最终几何结构变成不必要的。

[0067] 在备选实施例中,端接层或附加端接层是电绝缘的。这种端接层能够由塑料或陶瓷材料来制成,以用于确保磁体主体的防腐,因为形成保护涂层。在还有另一个备选方案中,磁性主体可包括用于降低退磁场对磁体主体的负面影响的导电层以及在顶部由塑料或陶瓷外壳所制成的用于确保磁体主体的防腐的还有另外的附加端接层。

[0068] 不管磁体是软磁体还是永磁体,SM或PM,如果磁体主体具有多晶微观结构、非晶微观结构和纳米晶微观结构中的一个的结构,则是有益的。

[0069] 多晶微观结构包括铁 (Fe) 以及包含组成i) 至v) 的至少一个的铁合金中的至少一个,而组成:

[0070] i) 包含铁和硅 (Fe-Si),

[0071] ii) 包含镍和铁 (Ni-Fe),

[0072] iii) 包含钴和铁 (Co-Fe),

[0073] iv) 包含铁和铝 (Fe-Al),

[0074] v) 包含铁、铝和硅 (Fe-Al-Si);

[0075] 非晶微观结构又包括铁合金,其包括组成vi) 至x) 的至少一个,而组成:

- [0076] vi) 包含铁、硼和硅 (Fe-B-Si),
- [0077] vii) 包含铁、镍、硼和硅 (Fe-Ni-B-Si),
- [0078] viii) 包含铁、硅、硼、磷和铌 (Fe-Si-B-P-Nb),
- [0079] ix) 包含第三编组和第四编组的元素的任一个的第一元素组合,其中第三编组包含元素钴、铁和镍,并且其中第四编组包含元素硼、硅和碳,
- [0080] x) 包含第五编组和第六编组的元素的任一个的第二元素组合,其中第五编组包含元素钴和铁,并且其中第六编组包含元素锆、钨和铌;
- [0081] 最后,纳米晶微观结构包括铁合金,其包括铁、铜、铌和硼。
- [0082] 在软磁体的情况下,附加性质是可实现的,例如以下所说明的。
- [0083] 制造过程允许更高级软磁体被构建,其具有磁体主体,磁体主体具有多晶微观结构、非晶微观结构和纳米晶微观结构的至少一个的结构。
- [0084] 由于大约10 nm与超过大约100 μm 之间的磁性晶粒的晶粒大小的范围中的许多组成的矫顽性的快速变化,如果第一区域中的平均磁性晶粒大小小于20 nm或者大于50 μm ,并且其中第二区域具有100 nm至1 μm 的平均磁性晶粒大小,则根据高磁导率(即,低矫顽性)证明是有利的。这至少对于具有化学元素Fe-Cu-Nb-Si-B、Fe-Nb-Si-B、Fe-Co-Zr、50 wt%的Ni-Fe、80 wt%的Ni-Fe和以6.5 wt%的Si-Fe的组成成立。
- [0085] 接下来,还存在其中预期软磁或者半硬磁以及永磁性质的应用。在这种磁体的示范实施例中,第一区域具有小于1 kA/m的矫顽性或者大于1 kA/m但小于10 kA/m的矫顽性,而第二区域具有大于10 kA/m的矫顽性。
- [0086] 到目前为止,产生这类混合磁体的唯一方式在于,软和硬/永磁体必须相互分开产生,并且然后在另外的步骤组装成预期磁体主体。与此形成对照提供本描述中稍后公开的用于以基本上一次产生预期磁体主体的经济方式的新制造方法。
- [0087] 如果电气装置装备有上述磁体的任一个,则后者的效果和优点也将适用于电气装置。在示范实施例中,电气装置可以是电马达、发电机、功率变压器、仪表变压器、磁致动器、线性运动装置、磁偏置电感器装置等。
- [0088] 在仪表变压器的情况下,例如,降低磁体损耗的能力允许那些装置的增加的线性范围。
- [0089] 接下来公开用于产生上述磁体的多种方法。
- [0090] 在产生具有包括具有第一磁性的第一区域和具有与第一性质不同的第二磁性的第二区域的磁体主体的磁体的方法的最基本实施例中,该方法包括下列步骤:
- [0091] a) 通过在待构建磁体的第一预定区域上各沉积多个第一粉末部分,并且通过将多个第一粉末部分相互融合使得形成磁性晶粒来形成属于第一区域的第一层;
- [0092] b) 通过在待构建磁体的第二预定区域上各沉积多个第二粉末部分,并且通过将多个第二粉末部分相互融合使得形成磁性晶粒来形成属于第二区域的第二层;
- [0093] c) 通过在待构建磁体的第三预定区域上各沉积多个第一粉末部分,并且通过将多个第一粉末部分相互融合使得形成磁性晶粒来在磁体的构建方向上在第一层之上形成属于第一区域的第三层;
- [0094] d) 通过在待构建磁体的第四预定区域上各沉积多个第二粉末部分,并且通过将多个第二粉末部分相互融合使得形成磁性晶粒来在磁体的构建方向上在第二层之上形成

属于第二区域的第四层；

[0095] 术语‘熔合’将不是仅囊括例如从常规激光烧结过程已知的颈烧结。

[0096] 取决于专用于执行磁体主体的形成的实际三维构建装置以及取决于磁体主体的预期性质，第一层的厚度、第二层、第三层和第四层厚度处于20至200微米的范围中。

[0097] 在需要时，第一层和第二层相对于磁体的构建方向并排布置。备选地，第一层和第二层相对于磁体的构建方向一个在另一个之上。

[0098] 第一粉末部分的沉积和第二粉末部分的沉积能够通过粉末床经济地执行。在形成方法是火花等离子体烧结 (SPS) 的情况下，术语‘粉末床’被理解为包括所有种类的材料沉积，而不管这如何在模具中建立。

[0099] 如果第一粉末部分的沉积和第二粉末部分的沉积通过专用三维构建装置的第一沉积头来执行，则磁体的经济可行生产是可实现的。术语‘3D打印机’有时用于表示三维构建装置。

[0100] 如果通过借助于激光束、电子束、离子束、等离子体束中的一个局部熔融第一粉末部分和第二粉末部分的粉末颗粒，则良好形成结果是可实现的。此外，术语‘熔合’将不是仅囊括例如从常规激光烧结过程已知的颈烧结。

[0101] 如果粉末床在熔合多个第一粉末部分和第二粉末部分之前预先加热，则在一些应用中原来是有利的。预加热对于所有这些方法 (包含SPS和熔覆 (例如激光熔覆)) 那个是特别有益的，因为预加热对于控制晶粒大小和相形成、局部熔合的降低能量要求以及对于降低热机械应力是有帮助的。

[0102] 在SPS的情况下，通过对第一粉末部分和第二粉末部分施加机械负荷，并且使高电流经过第一粉末部分和第二粉末部分来实现熔合。在示范实施例中，可采用具有下列特征的铸模。首先，外铸模，其定义磁体主体的周边。其次，界壁 (parting wall)，其界定铸模腔的径向内截面与铸模腔的径向外截面 (当在构建方向来看时)，使得创建具有环形截面的子腔。环形截面无需具有圆形类型。许多多边形形状是可设想的。第三，包括NdFeB的第一粉末部分填充到界壁之内的腔的内截面中。第四，包括 (Nd, Dy) FeB的第二粉末部分填充到具有环形截面的子腔中。第五，去除隔离壁。接下来，高电流经过第一粉末部分和第二粉末部分，使得粉末部分不仅各熔合到固体主体中，而且还相互熔合成单个磁体主体。

[0103] 备选地，可设想在模具中逐层构建磁体主体，例如因为模具的底部支承结构在构建方向上是活动的。

[0104] 在需要时，制造方法还可包括将第一粉末部分和第二粉末部分或者熔合的第一粉末部分和第二粉末部分暴露于磁场的步骤。那个外部磁场能够在凝固之前和/或期间和/或之后存在，以便影响磁性晶粒的成核/取向过程。

[0105] 为了赋予磁体甚至更高级的磁性质，制造方法还可包括在待构建磁体的预定另外的区域中布置电绝缘层的步骤

[0106] a) 在第一层与第三层之间；或者

[0107] b) 在第二层与第四层之间；或者

[0108] c) 在第一层与第三层之间以及在第二层与第四层之间，或者

[0109] d) 在第一层与第二层之间；或者

[0110] e) 在第三层与第四层之间；或者

[0111] f) 按照a)至e)的任何组合。

[0112] 因层的比较大的表面与厚度比而采用术语‘绝缘层’。磁体主体的逐层形成允许绝缘性质以及磁体中的磁路的适应调谐。可采取这些措施,以用于抑制或者至少阻碍/限制磁体的操作状态中的涡流的形成,特别是在软磁体应用中。

[0113] 在在构建方向上延伸的电绝缘层的情况下,它们可被布置,使得它们与相邻第一至第四层缩排(indent),使得磁体主体的良好机械性质仍然是可实现的。

[0114] 如果通过专用三维构建装置的第二沉积头来执行布置电绝缘层的步骤,则设置用于建立电绝缘层的材料的有效并且仍然快速的方式是可实现的。通过第二沉积头所沉积的用于形成电绝缘层的材料能够是固体(例如粉末)、液体,或者例如通过汽相沉积或者通过离子电镀。

[0115] 在制造方法的优选实施例中,第一区域和第二区域的至少一个具有至少95体积百分比的每给定体积的磁性晶粒的填充度。这样,具有特别强磁性质的磁体是可实现的。

[0116] 如果需要,制造方法可具有在第一区域和第二区域的至少一个的周边处布置至少一个端接层的附加步骤。

[0117] 取决于预计目的并且取决于其他条件如一旦内建于电气装置就干扰磁体的操作状态中的磁场,端接层是导电或者电绝缘的。此外,有可能首先施加导电层,并且在导电层之上施加电绝缘层,例如以用于防腐。

附图说明

[0118] 本描述参照附图,附图包括:

[0119] 图1示意性示出按照本发明的用于产生磁体的基本第一实施例的方法的一般显示;

[0120] 图2示意性示出用于产生图1的磁体的方法的微观显示,示出磁性晶粒的形成;

[0121] 图3示意性示出按照本发明的用于产生磁体的第二实施例的方法的微观显示。在这种方法中,例如通过掺杂和合金化来形成磁性晶粒,其在化学上与其余磁性晶粒是不同的;

[0122] 图4示意性示出按照本发明的用于产生磁体的第三实施例的方法的微观显示。在这种方法中,执行各种材料的局部沉积,以用于形成相邻层之间的薄绝缘层;

[0123] 图5示意性示出按照本发明的磁体的第四实施例的形态和微观结构,示出包括较大和圆柱磁性晶粒的层的切块(cutout);

[0124] 图6示意性示出磁性主体中的第一区域和第二区域的第一建立的一般布置;

[0125] 图7示意性示出磁性主体中的第一区域和第二区域的第二建立的一般布置;

[0126] 图8示意性示出磁性主体中的第一区域和第二区域的第三建立的一般布置;

[0127] 图9示意性示出磁性主体中的第一区域和第二区域的第四建立的一般布置;

[0128] 图9a示意性示出磁性主体中的第一区域和第二区域的第四建立的变化的一般布置;

[0129] 图10示意性示出一层中具有磁体主体的磁性晶粒区域之间的电绝缘层的第五建立的一般布置;

[0130] 图11示意性示出沿图10的线条A-A经过层的放大切块;

- [0131] 图12示意示出按照本发明的用于产生磁体的第六实施例的方法的示意显示；
- [0132] 图13示意示出形成电气装置的第一实施例的圆形磁芯元素的正视图；
- [0133] 图14示意示出形成电气装置的第二实施例的经过电马达的示意截面；以及
- [0134] 图15示意示出图14中的区域B的放大视图，示出永磁体/硬磁体主体。
- [0135] 附图中，相同项以及相同功能的项被给予相同参考字符。

具体实施方式

[0136] 图1中，通过逐层一个在另一个之上地施加多个层2，使得最上面的层通过能量束在构建方向Z上局部接合到至少在某种程度上相邻、下面和邻近的层来制造具有自由形式成型的磁体主体10的磁体1。粉末物质3用于在制造过程期间支承磁体主体10。粉末物质在制造过程期间没有接合到磁体1。

[0137] 制造过程要求具有基底4的铸模结构，基底4具有多个冷却和加热元素5，其能够相互无关地控制，使得第一表面温度6能够根据所要求的温度梯度在在X-Y方向上的点处瞬时选择。激光束7将包括稀土元素以及铁和硼的第一粉末组成8的层13变成第一磁性晶粒9。为了熔池的凝固期间的微观结构的改进控制，合金特定温度梯度和冷却速率被施加并且在整个构建过程中保持为恒定。温度梯度主要在构建方向Z上来施加。在熔池16的凝固时，冷却速率在整个构建过程期间保持在恒定水平。冷却速率优选地保持在通常高于 $10^4 - 10^5$ K/s的值。这通过在构建室中控制支承结构层18和粉末床13的顶部粉末层的温度来实现。支承结构层18通过冷却/加热元素5的热电元素或者通过适当液体媒介来冷却到低于室温或者加热到高于室温。顶部粉末层13通过光辐射加热器19或任何其他适当方法来加热到高于室温。与激光束参数(例如束能量、焦斑的大小、停留时间、在X-Y方向上的速度)的变化和控制相结合。

[0138] 虽然在本小节示例中，提出使用聚焦激光器作为能量源，但是电子束也能够用作备选方案。在激光束的情况下，该过程在保护惰性气体气氛(比如例如氩)下进行。在电子束的情况下，该过程在真空下进行。

[0139] RE是具有大约30 wt%的钕。图1连同图2揭示，在方向Z上所测量并且通过第一沉积头(图1和图2中未示出，但是与稍后参照图3和图4所示和所说明的第二沉积头类似)所施加的第一粉末床13的粉末组成8的层厚度对应于通过相同层的多个磁性晶粒9(即，在构建方向Z上具有相同高度水平的磁性晶粒)所产生的第一层2的层厚度15(参见图4的层厚度15)。

[0140] 虽然第一粉末床13的第一粉末组成8在图1中示为具有球状较大粉末颗粒(其具有与层厚度15相同的直径)以及较小粉末颗粒(其具有小许多的大小)的混合物，但是必须知道，图1和本申请的所有后续附图中的第一粉末组成8的这个显示是简化显示。那种简化为了示意图示熔池16中逐步的磁性晶粒9的熔合过程和层2的形成而进行。实际上，第一粉末组成8包括多个不一定球状粉末颗粒(其具有大约20-150 μm 的粉末晶粒大小)，以及粉末床13具有比磁性晶粒9的稠化层要低的封装密度。换言之，磁性晶粒9的最小厚度与粉末组成8的颗粒大小相互关连。

[0141] 激光束7出自打印头12(其至少在X-Y方向上是活动的)，并且将由第一沉积头所提供的多个第一粉末部分在X-Y和Z方向上相互熔合，使得在熔池16中形成第一磁性晶粒9。如从图2显而易见，第一磁性晶粒9表示成具有一种磁化方向，其优选地对应于每个第一磁性

晶粒9中的双箭头17显示的磁取向。

[0142] 回到图1,铸模结构还具有支承结构层18,其通过在基底4与磁体主体10(一旦产生)之间。

[0143] 此外,提供加热元素、例如光辐射加热器19,以用于在由激光器7将多个第一粉末部分熔合在一起之前预先加热粉末床13。

[0144] 图2还揭示热流20,其显示为从熔池16朝基底4延伸的阴影线箭头。熔池16具有冷却速率,其被控制为恒定。

[0145] 因为属于第一区域(其因第一粉末部分而具有第一磁性质)的第一层2以及属于第二区域(其因具有与第一区域中的一个不同的磁性质的第二粉末部分而具有第二磁性质)的第二层存在(图1和图2中未示出),所以磁体主体10具有提供在其单个轮廓中的两个不同磁性质。

[0146] 磁性晶粒相对于给定体积的填充度为95体积百分比、即最大理论密度的95%。由于粉末颗粒的总体熔融和熔池的再凝固,通过这种示范方法所处理的材料展现这种密集微观结构。所测量密度完全高于理论密度的95%、大多数时间高于98%。处理的材料的微观结构对在Z方向上的晶粒取向展现极突出的纹理。在z方向上的晶粒取向的最小尺寸与粉末层厚度的尺寸相互关连。为了实现在Z方向上的极长定向晶粒,激光束移动按照使得激光图案与下面层的图案完全匹配的方式来控制。

[0147] 与现有技术相比,本公开的所述示范方法具有若干优点。它允许以低许多的制造成本来产生具有复杂几何结构的磁体(其通过已知方法无法实现)。因此,它实现电气装置(例如马达、发电机、变压器等)针对最大性能和最佳能量效率的改进设计。能够通过将数值软件用于所涉及磁、电、热和机械现象的多重物理量模拟来优化装置的设计。这种数值设计研究的结果是最佳成型磁体。为最佳磁体形状制作CAD软件模型。磁体通过本公开的示范方法从CAD软件模型直接产生。这具有最终磁体组件的成本有效和快速处理的优点。在RE基永磁体材料的情况下,成本有效性跟现有技术解决方案更好地比较,因为能够避免许多粉末冶金处理步骤。通过本公开的示范方法所处理的材料具有充分更高的化学纯度,因为氧提取的风险通过在氩下执行一个(例如,仅一个)处理步骤极大地降低。在软磁体材料的情况下,能够避免片生产和后续组装成磁芯的精致和高费用过程,这引起充分降低的生产时间和成本。针对处理的磁体的微观结构和性质实现另外的重要优点。由于高度控制的晶粒取向,实现磁体材料的极有利各向异性纹理。晶体的简易磁化的轴线与主z方向或者与构建过程的X-Y方向相互关连。因此,所得的各向异性纹理引起磁体的改进性能。

[0148] 对于沉淀可硬化合金系统实现另外的优点。由于对整个构建体积的控制的冷却速率,实现过饱和混合晶体的极均质状态。外来原子处于高浓度,并且在主晶格中均质地分布。这是用于在构建过程之后进行适当沉淀热处理步骤的最佳前提。通过这个,实现极适应和改进磁性质。

[0149] 图3所示磁体主体21的实施例与图2所示磁体主体10的第一实施例的不同之处在于,它不仅具有属于第一区域23的第一磁性晶粒9,而且还具有第二磁晶粒22(其相对于构建方向Z具有与完全相同层2中存在的晶粒9不同的磁性质)。第二晶粒属于磁体主体21的第二区域24。形成粉末床13的第一粉末组成8的第一粉末部分再次通过第一沉积头来沉积在凝固先前层2之上或者支承结构层上。第一粉末组成8包括REFeB,其中RE是用于形成第

一磁性晶粒9的具有大约30 wt%的钆,其在化学上与用于形成第二晶粒22的相同。

[0150] 通过仅在表示为一旦通过激光束7所熔合则变成第二区域24的那个区域中将通过镗、即掺杂剂所形成的适当量的粉末物质25沉积在粉末床13之上来实现磁性质的差。形成掺杂剂25的粉末物质的沉积通过第二沉积头26(其至少在X-Y方向上是活动的)来执行,并且掺杂过程在熔池16中继续进行。这样,具有6 wt% Dy的磁性晶粒是可实现的。

[0151] 第二沉积头26在X-Y方向上是活动的,并且实现辅助构建任务。第二沉积头26的操作与激光操作并且与新粉末层的施加(例如用于形成粉末床13的主要构建任务)进行协作。例如,软件控制主要和辅助构建任务。第二沉积头26将材料局部放置于已经凝固的固体层2或者粉末层13上,这取决于要求并且在另一个实施例中。在任何情况下,沉积材料能够放置在X-Y构建表面中的任何预期区域。打印头材料沉积的分辨率(例如辅助构建任务)至少在主要构建任务的粉末颗粒大小的范围中。在示范实施例中,第二沉积头材料沉积的局部分辨率明显高于主要构建任务的粉末颗粒大小。辅助构建任务中的沉积材料的厚度能够按照要求来改变。对于磁性材料,能够沉积仅在例如0.1 - 5 μm 的范围中的比较薄的层。第二沉积头能够使用任何已知的沉积技术。发现例如使用流体媒介,以便沉积采取微滴形式的材料。流体媒介能够是例如液体媒介、无机前体、溶胶、墨水等中的固体颗粒的胶状扩散。在使用扩散的情况下,颗粒大小通常在1 μm 或以下的范围中。

[0152] 在示范实施例中,支承结构层(主要构建任务的顶层)的温度保持在升高温度,以确保扩散媒介的很快去除。这通过例如光辐射加热器19(其控制表面温度6)来实现。

[0153] 沉积头能够沉积至少一种材料。但是,如果对于实现最终构建对象的预期性质看来是有益的,则沉积头能够在辅助构建步骤期间沉积不同材料。这具有不同材料能够局部引入主要构建步骤的微观结构中的优点。本公开的方法开辟多成分材料的微观结构的3D设计和构建中的极高自由度。通过这个,有可能在微观结构级直接从对象的CAD模型局部调谐预期对象的功能性质。在另外的示范实施例中,能够引入合金元素,其在激光熔融和再凝固期间对具有主要构建任务的颗粒的新相起反应,或者合金元素能够在晶粒边界处扩散和隔离。调整激光能量和焦斑大小,以便构建密集层(其已经沉积在固体衬底表面区域上)或者形成新合金相(其产生于在粉末衬底处的材料的沉积)。一般来说,所有冶金概念能够在微观结构级局部应用。必须考虑特别是熔融形成(当熔池通过聚焦激光束来创建时)、控制快速凝固(当激光器移动到另一个点时)以及构建过程之后的热处理的可能性,以便充分利用本公开的示范方法。

[0154] 通过这个,如电导率、热导率、硬度、强度、耐腐蚀性、折射率、磁饱和极化、磁矫顽性、居里温度等等的功能性质能够在微观结构级直接从预期对象的CAD模型局部调谐。

[0155] 对于磁性材料的示例,辅助构建任务用来在需要它们的情况下的磁体的体积的位置引入合金化或掺杂元素。在示范实施例中,仅在高退磁磁场存在的位置处引入重稀土金属(例如Dy)。这具有使所需Dy的总量为最小的优点。通过这种方式所产生的磁体因实现磁体的最终应用中的相同性能和温度稳定性所消耗的明显要低的Dy量而基本上更为廉价。能够引入其他合金元素,以便局部改进最终应用所需的区域中的机械强度、韧性和耐腐蚀性。

[0156] 图4所示磁体主体27的另外的实施例与图2所示第一实施例10的不同之处在于,存在第一电绝缘层28、第二电绝缘层29和第三电绝缘层30,其当在构建方向Z上来看时提供在后续层之间和最后产生的磁性晶粒的顶层之上。

[0157] 构建绝缘层28、29、30所要求的材料通过另外沉积头31 (其将液体聚硅氨烷聚合物的一部分分配在第一晶粒9 (一旦它们被凝固) 之上) 来沉积在第一磁性晶粒9之上, 以便形成陶瓷的前体。在液体聚硅氨烷聚合物的交联之后, 它被分解, 并且聚硅氨烷采用已知方式变成陶瓷层。取决于要求, 第一电绝缘层28、第二电绝缘层29和第三电绝缘层30的层厚度32在0.1 μm 一直到大约1 μm 的范围中。

[0158] 按照并不局限于图3所示实施例的更一般方面来说, 使磁性材料引入电隔离材料、优选地为陶瓷 (例如氧化物、氮化物、碳化物等) 的薄层 (通常为0.1 - 5 μm) 能够是极为有利的。通过这个, 能够有效地避免涡流损耗, 并且显著改进电气装置的效率。在其中所感应涡流的高浓度将会存在的体积区域中, 通过在相同局部体积区域中引入更多层来增加隔离层的密度。通过这个, 在仅需要的体积区域处非常有效地抑制涡流。因此, 引入非磁性材料的最小数, 这使磁体的总体积中的有效磁性材料的体积为最大。这对于软和硬磁性材料均是重要优点。在软磁性材料的情况下, 本公开实现具有功能分级层架构的磁芯的直接生产。它与现有技术相比是要快许多、不太精致和更廉价的技术。最后, 本公开实现装置的更高效率、改进的磁性能、降低的生产成本等。

[0159] 接下来让我们回到按照图5所示本发明的磁体的第四实施例的形态和微观结构。图5所示的软磁体示出在构建方向Z上所形成的具有大约100 μm 的厚度的单个层2的特写。在制造方法的这个实施例中, 第一粉末组成用于形成第一磁性晶粒9以及第二磁性晶粒22。

[0160] 在图5的左侧上能够看到, 第一磁性晶粒9在第一区域23中通常是较大的并且是圆柱形的, 而它们在第二区域24中在X-Z方向上通常是具有完全二次截面的立方体。在制造方法的这个实施例中, 磁性晶粒的不同晶粒大小和取向通过应用于不同区域23、24的不同打印参数引起。圆柱的第一磁性晶粒9促进较低矫顽性并且因而促进较高导磁率, 而第二区域24中的较小晶粒具有较低导磁率。

[0161] 在这种方法的变化中, 第二磁性晶粒22无需通过打印参数的变化而是通过基于除用于形成第一磁性晶粒9的粉末组成外的第二粉末组成的专用粉末床来产生。

[0162] 图6所示的磁性主体10中的第一区域23和第二区域24的第一建立 (set-up) 的一般布置揭示, 磁体主体10具有立方体总体形状, 并且具有两个相对横向表面 (其形成边缘区域33)。第二区域24沿那个边缘区域33来布置。当在构建方向Z上来看时, 第二区域24具有楔形截面。第一区域23位于两个第二区域24之间。晶粒的磁取向再次通过双箭头17来指示。

[0163] 图7所示的磁性主体10中的第一区域和第二区域的第二建立的一般布置揭示, 磁体主体10具有立方体总体形状, 并且具有两个相对表面 (其在Y-Z方向上各通过两个角或边缘34来界定)。与图6所示的实施例相比, 这个实施例的第二区域24仅沿这些角或边缘34而没有在整个末端区域33之上延伸。

[0164] 图8所示磁体主体10的第一区域和第二区域的第三建立的一般布置揭示, 磁体主体10具有立方体总体形状。在这个实施例中, 磁体主体10具有夹合构造, 其中当在构建方向Z上来看时, 形成第一区域23的块布置在形成第二区域24的两个相邻块之间。那些块的每个包括多个层2。

[0165] 图9所示磁体主体10的第一区域和第二区域的第四建立的一般布置揭示, 磁体主体10具有立方体总体形状。在这个实施例中, 磁体主体10具有更复杂设计, 其中具有比磁体主体10要小的外尺寸的立方体形状第一区域23完全位于第二区域24内。换言之, 第一区域

23完全位于磁体主体10的内部中,而磁体主体10的整个周边通过第二区域24来形成。

[0166] 针对图9a示出和说明按照图9的磁体主体的变化。第一区域23在构建方向Z上延伸,使得它到达磁体主体的底部表面35和顶部表面36。

[0167] 从其中主体厚度55延伸的构建方向Z来看时,磁体主体10再次基本上具有棱柱总体形状,其具有带有主体长度53和主体宽度54的矩形截面(在X-Y平面中)。从其中主体厚度55延伸的方向来看时,第二区域24为基本上管状,其具有环形截面,其中环形截面的外轮廓匹配矩形截面的外轮廓(均在X-Y方向上延伸)。最小环厚度56对于磁体主体10的主体厚度55没有偏离超过20%。

[0168] 接下来连同图10和图11来说明具有横向相邻磁性晶粒区域之间的若干电绝缘层的磁体主体10的第五建立的一般布置。图10所示磁体主体10的层面(slice)示出单个层2的一部分。磁体主体10具有多个内部电绝缘层37,其在构建方向Z的方向上并且在X方向上或者在Y方向上延伸。

[0169] 虽然有可能的是,磁性主体10不仅具有第一磁性晶粒9,而且还具有不同的第二磁性晶粒,但是为了简洁,垂直绝缘层37的方面将通过仅具有第一磁性晶粒的实施例来说明。

[0170] 沿图10的线条A-A经过层的图11所示特写显示垂直延伸电绝缘层37提供在各具有第一磁性晶粒9的两个相邻第二区域24之间。用于形成第一磁性晶粒的第一粉末组成包括REFeB,RE是具有大约30 wt%的钷。关于颗粒大小,参见图2。

[0171] 电绝缘层37的第三晶粒38由与第一晶粒9完全相同的第一粉末组成来形成,但是它们在采用与图3所公开的激光束类似的激光束7的熔合过程之前采用沉积于粉末床的铁(例如10 wt%铁)重掺杂。由于这个处理,第三晶粒38的电和磁性质与第一磁性晶粒9相比被破坏或者至少严重地降低,使得实现在X-Z方向上和Y-Z方向上的预期电绝缘效果。

[0172] 但是,电绝缘层37的区域中的磁体主体的机械刚性没有被过度影响,因为仍然存在第三晶粒38在横向方向X和Y上与第一晶粒9的金属接合。

[0173] 磁化方向和通量微扰的方向在构建方向Z上延伸。

[0174] 接下来针对图12说明按照本发明的用于产生磁体的第六实施例的方法的示意显示。与图1和图2所述的实施例相反,这种方法采用一种构建结构,其不是基于具有X、Y和Z方向共同笛卡尔坐标系,而是基于鼓状或者具有在方向W上围绕轴线(未示出)逐步旋转的弯曲壳表面的更任意构建结构。然而,具有微观结构纹理的构建方向Z以及晶粒取向17由底至上、即从径向内区域到径向外区域延伸。

[0175] 层2当前在衬底40(其可能完全通过作为径向外层2的具有恒等磁性晶粒9的先前产生层2来形成)之上创建。在这种生产方法(又称作激光熔覆、激光金属沉积或吹粉技术)中,粉末床不是完全在由激光束7所引起的熔池16中的实际熔合前面沉积在凝固下层2或衬底40(例如在实施例中通过层状芯所形成)上,而是通过将第一粉末组成8传输到熔池16的运载气体逐步沉积。第一粉末组成8以及激光束7的能量源的沉积通过组合打印头41进行。组合打印头具有打印头12以及围绕打印头12所引导的环形空心喷嘴42,例如以便形成漏斗。凝固磁性晶粒具有在Z方向上延伸的微观结构化纹理。例如包括如图2的上下文所述的预定量的第一粉末组成8的氩的适当气体流43经过喷嘴42与激光束同轴地定向到熔池16或者接下来将要形成的熔池的位置。

[0176] 作为这种制造方法的选项,电线圈44可布置在喷嘴42的末端处,以用于将第一粉

末组成8暴露于外部磁场,使得颗粒和晶体取向在沉积期间是可实现的。这个措施并不局限于这个实施例,而是可适用于更复杂表面和沉积结构。

[0177] 接下来参照图13示出和说明电气装置45的第一实施例。图13示出环形磁芯元素46,其具有第一区域23(其具有软磁性质)以及第二区域24(其具有硬磁性质)。新制造技术允许逐层产生磁体主体10,使得软磁性第一部分和硬磁性主体在基本上相同的制造过程中产生。这种磁体主体10可用于交流的电抗器布置中,比如例如EP2104115 A1中公开。

[0178] 参照图14和图15示出和说明电气装置45的第二实施例。图14示出经过电末端的转子47的截面。转子47包括载体部分(carrier section)48,其在具有沿具有软磁性质的旋转轴的方向上延伸的多个狭槽49。从所谓的Synrel或Syn-Rel类型已知这种转子设计。狭槽49设计成接纳具有匹配截面的永磁体50。除了区域“B”中之外,永磁体50在图14中尚未示出,以用于确保能够更好地识别部件和几何结构。图14将不是作为涵盖沿几何结构的所有的材料组成的所有需求和方式的完全示例。还可考虑对磁体的多个层、磁体的不同取向和形状的变化。

[0179] 图14还公开总体软磁载体部分48具有用于形成电马达的操作状态中的低矫顽性区域的多晶第一区域23。损耗以及传导率在这个第一区域23中无关紧要。磁性晶粒的晶粒大小包括组件的芯的这个区域中的铁和硅酮(Fe-Si)或Fe-Co或Fe-Ni或者类似软磁组成,晶粒大小低于大约20 [nm]或者高于50 [μm]。不需要例如在图4的实施例的上下文中所说明的具有电绝缘层(28、29、30)的层合。

[0180] 载体部分48还具有相对于转子47的旋转轴52的周边区域或边(rim)区域51。所述边区域51经受高机械应力以及高磁通量变化。边区域对应于较低矫顽性但是高导磁率区域,但是需要作为纳米晶或非晶的层状的多晶结构或者微观结构的损耗管理。层状的多晶结构如图4的上下文中所说明地那样形成,其中公开电绝缘层28、29、30的产生。这个边区域51中的磁性晶粒的晶粒大小低于大约20 [nm](纳米晶或非晶)或者高于50 [μm](以层合)。因此,边区域51取得本公开的上下文中的另外的第一区域23的资格。具有边区域51中的上述晶粒结构还是有利的,因为它促进高机械刚性,其在那个比较小区域中的转子47的磁体主体的周边处是极期望的。

[0181] 载体部分48还具有位于相邻狭槽49之间以及狭槽49的周边末端与形成所谓的桥的转子47的壳表面之间的中间区域。

[0182] 需要桥以抑制永磁体50和极结构,并且将它固定到转子47。因此,对于机械考虑因素,期望桥尽可能厚。消极面在于,较厚的桥磁通量不跨越电气机器的空气隙并且因此增加机器的总成本,因为要求增加永磁体以用于补偿那个缺点。需要提及,这里对软磁侧的需求与是否存在放置于机器的转子47的硬磁体50无关。如果使用硬磁体50,则桥将会必须比其中硬磁体不存在的应用中要厚。这是因为增加的离心力。但是,总需求和预期对于软磁性将保持。

[0183] 现在回到图14的实施例,这个中间区域的一个部分位于由狭槽49所形成的V型的基底,所述中间区域最接近旋转轴52,存在高矫顽性和低导磁率的需要。相应地,这个区域中的磁性晶粒的晶粒大小选择为在大约100 nm至大约1 μm的范围中。因此,那个中间区域完全取得本公开的上下文中的第二区域24的资格。因此,上述磁体生产方法经过(traverse)当前问题:较大Synrel类型机器是不可行的,因为它们将会要求较大极数,并且

因而因维持增加离心力所要求的增加的桥宽度和磁各向异性的所得到的降低而超过已知结构局限性。与此相反,本方法现在允许构建这类较大Synrel机器,因为它形成构建充分强的桥的机会。由于没有各向异性的降低或者甚至增加的各向异性,电马达的较高凸极性(saliency)比是可实现的。

[0184] 图15中提供图14的部分“B”中的硬或永磁体50的特写。永磁体50的延长截面与针对图8所述的磁体主体的实施例类似地产生。但是,在本硬磁体实施例中,用于满足高矫顽性要求的区域位于磁体主体50相对于中心、即接近具有比较低的矫顽性要求的第一区域23的相对、即远端24处。

[0185] 参考字符列表

1	磁体
2	层
3	粉末物质
4	基底
5	冷却/加热元素
6	第一表面温度
7	激光束
8	第一粉末组成
9	第一磁性晶粒
10, 21, 27, 39, 47, 50	磁体主体
12	打印头
13	粉末组成的层/粉末床
15	层厚度
16	熔池
17	晶粒取向
[0186] 18	支承结构层
19	光辐射加热器
20	热通量
22	第二磁性晶粒
23	第一区域(低矫顽性)
24	第二区域(高矫顽性)
25	粉末物质/墨水/掺杂剂
26	第二沉积头
28	第一电绝缘层
29	第二电绝缘层
30	第三电绝缘层
31	另外的沉积头
32	绝缘层的层厚度
33	边缘区域
34	角区域

35	底部表面
36	顶部表面
37	电绝缘层
38	第三晶粒
40	衬底
41	组合打印头
42	喷嘴
43	气体流
44	电线圈
45	电气装置
[0187] 46	磁芯元素
47	电机的转子
48	载体部分
49	狭槽
50	永磁体主体
51	边区域
52	旋转轴
53	主体长度
54	主体宽度
55	主体厚度
56	最小环厚度

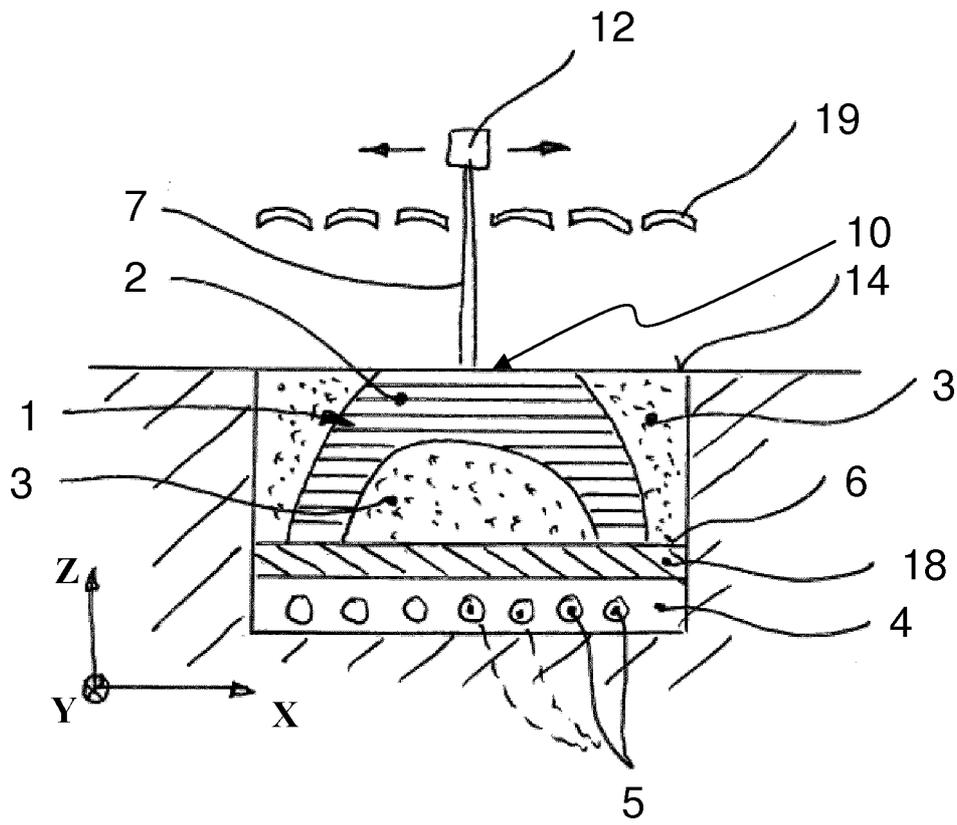


图 1

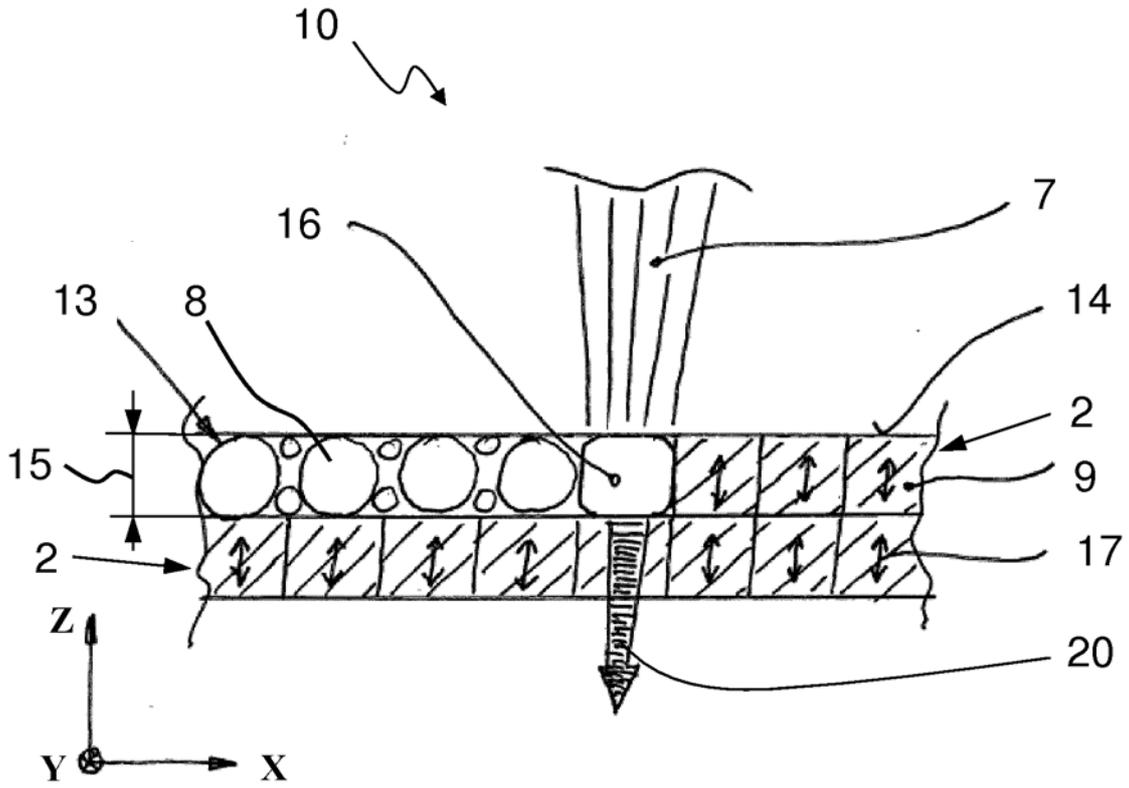


图 2

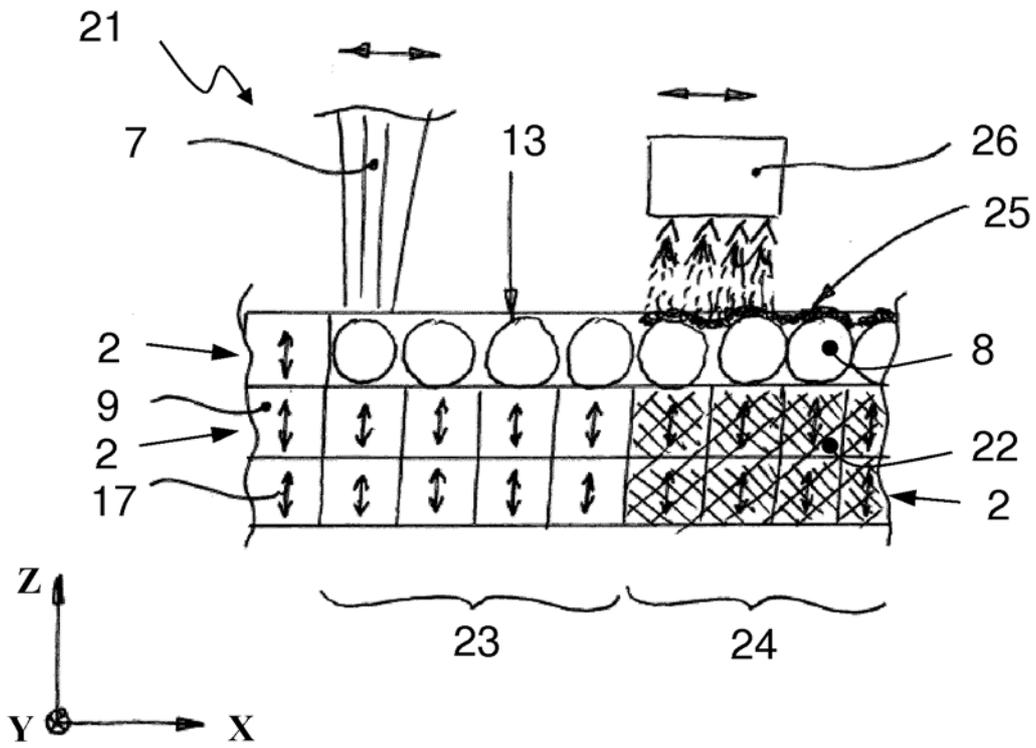


图 3

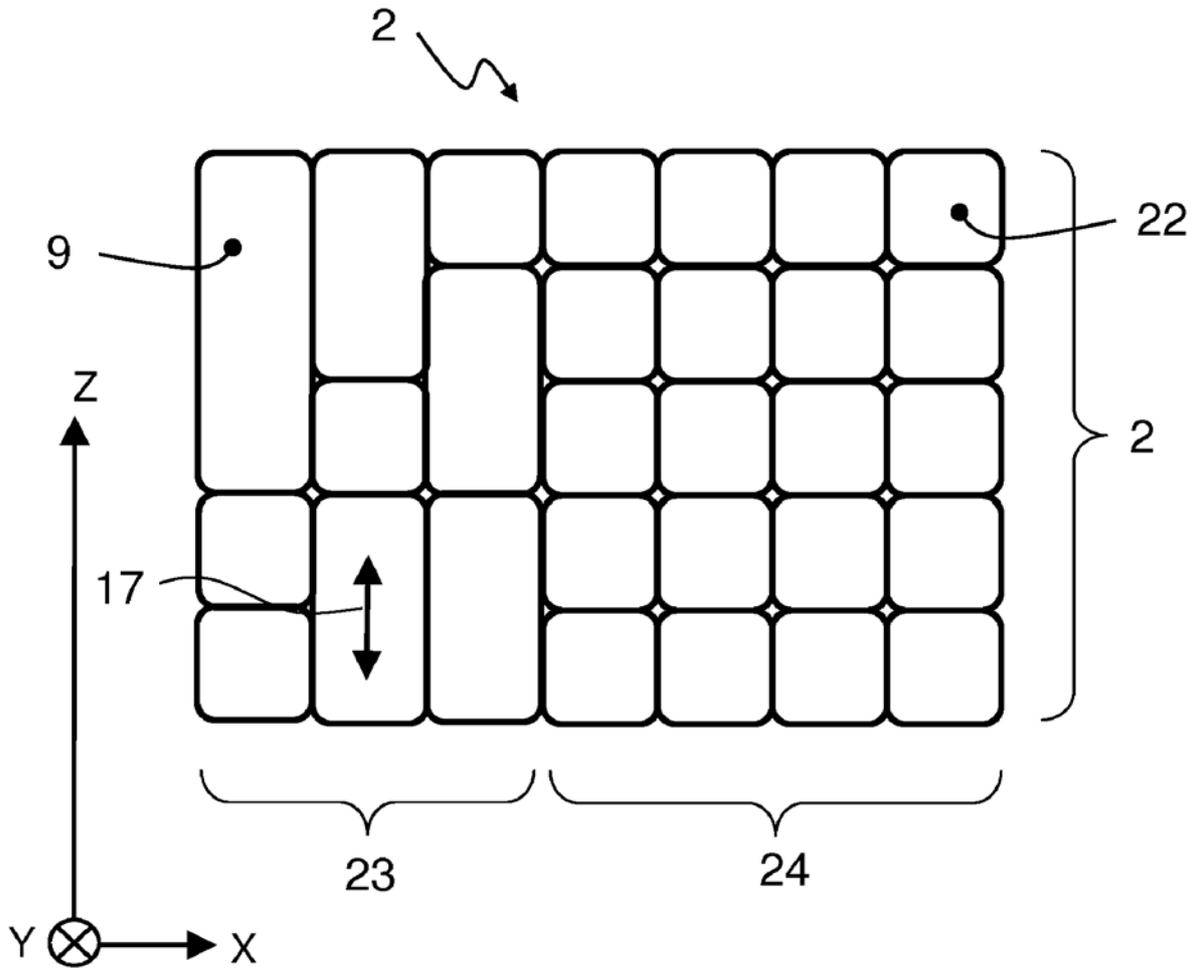


图 5

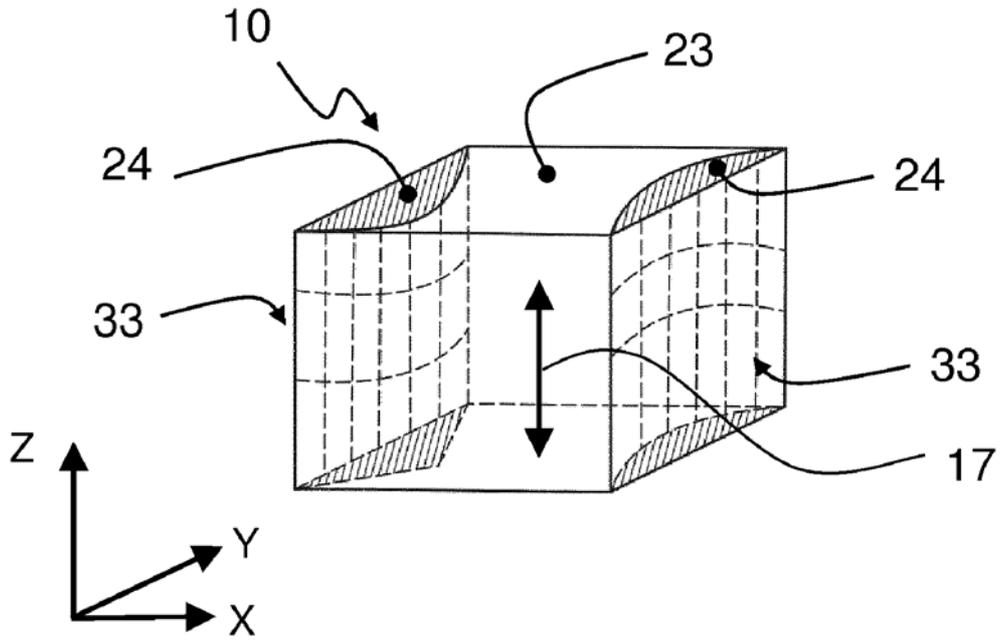


图 6

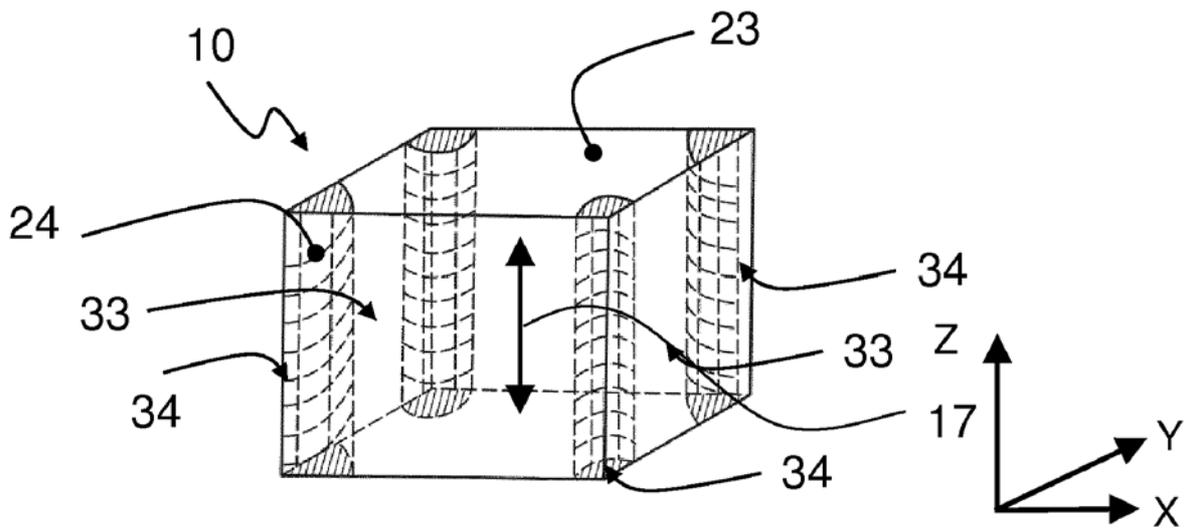


图 7

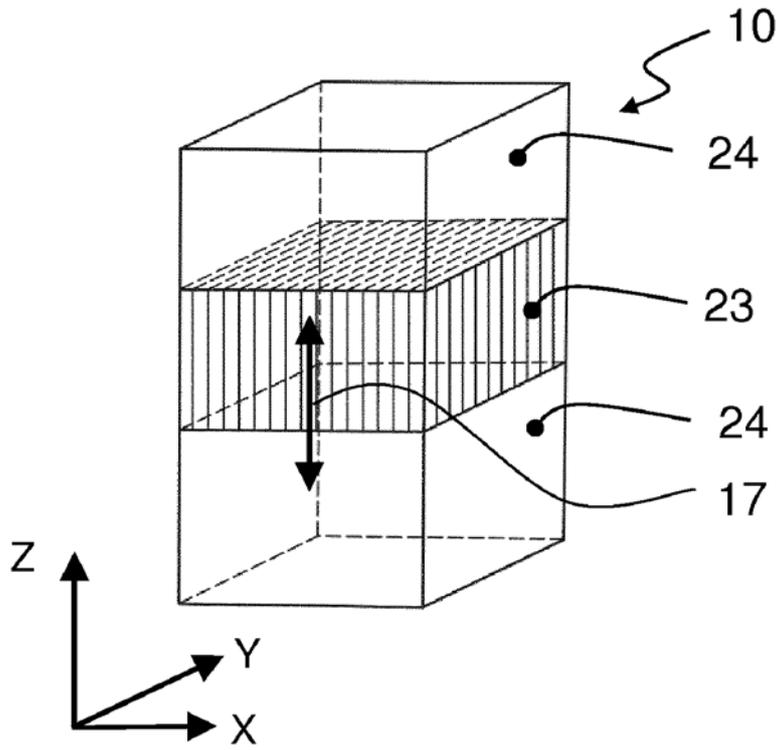


图 8

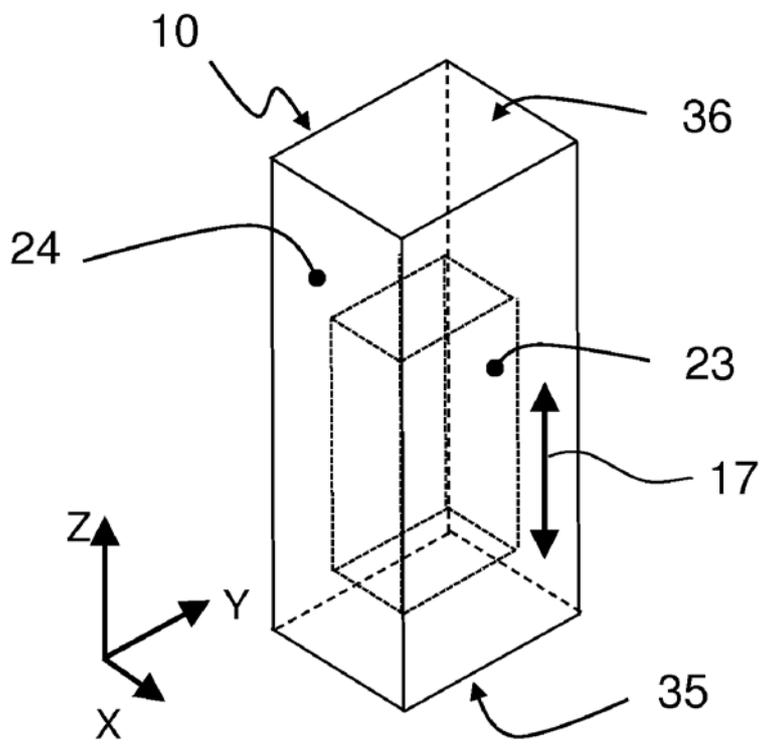


图 9

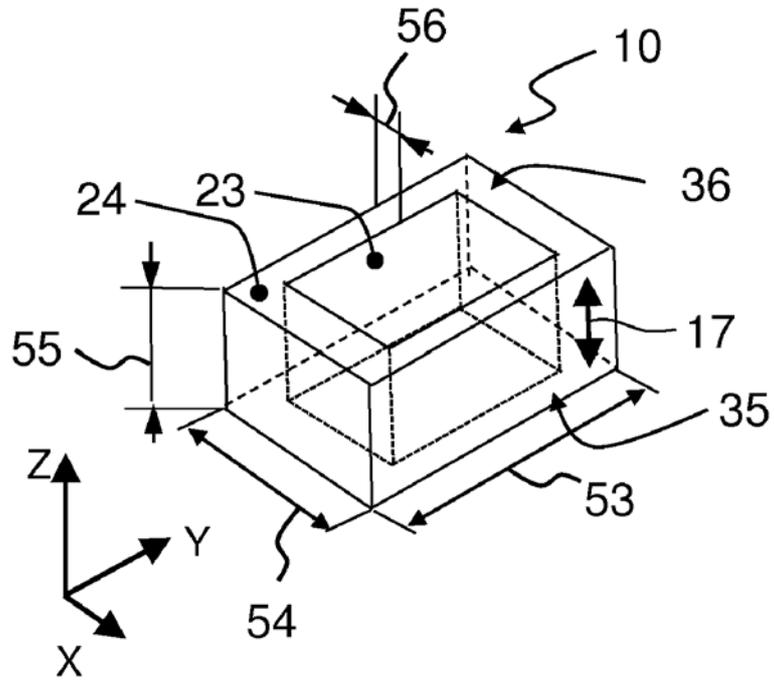


图 9a

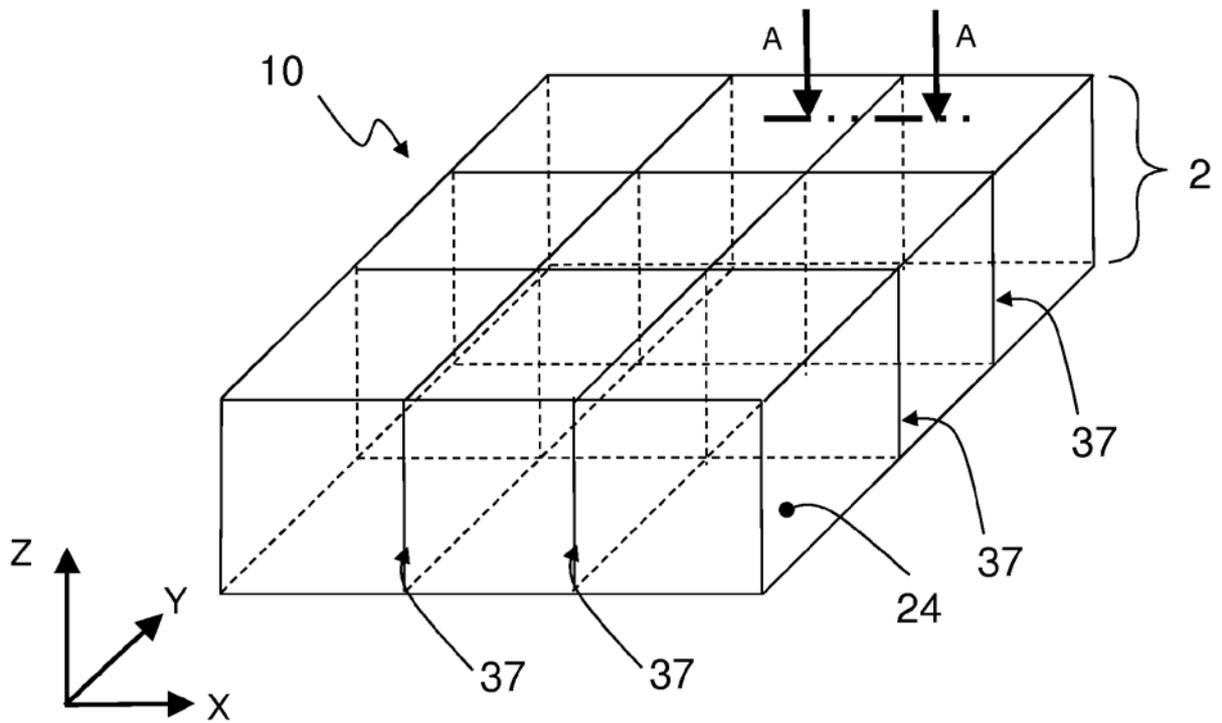


图 10

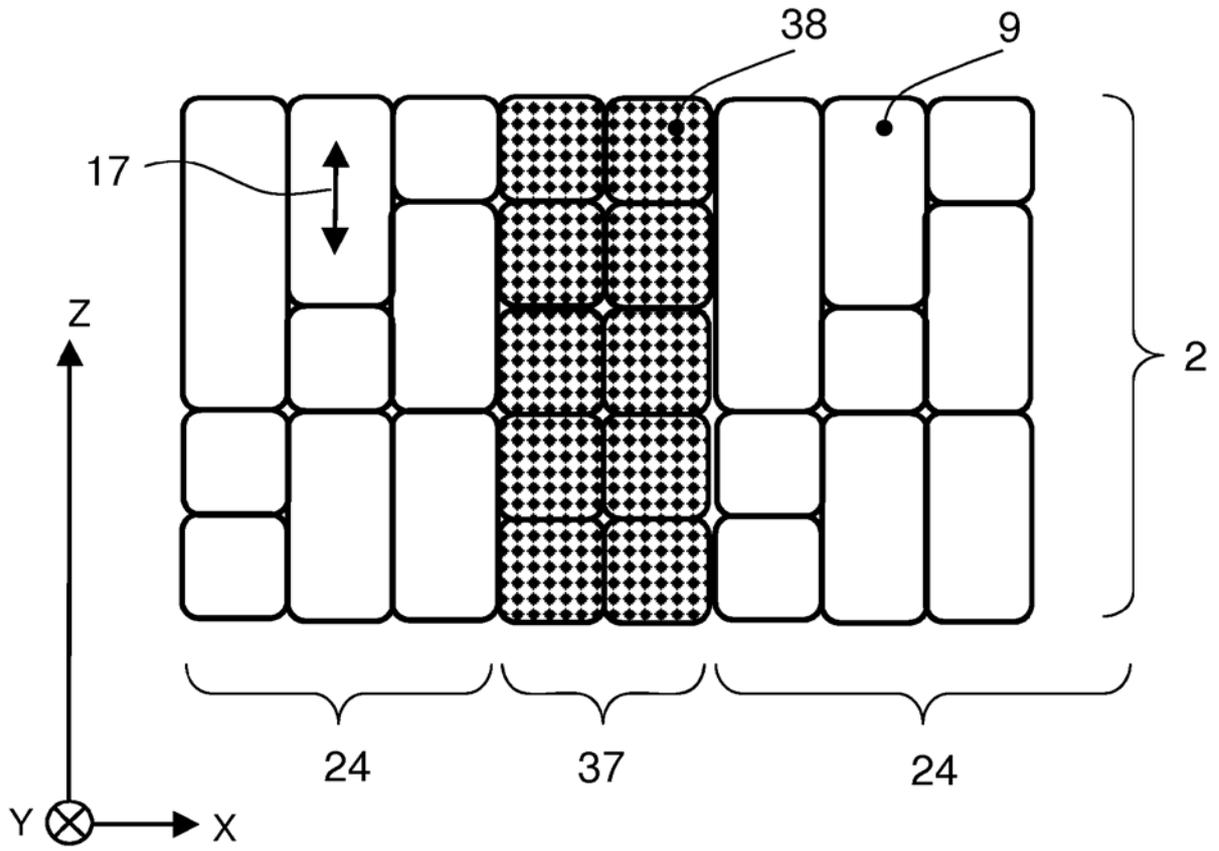


图 11

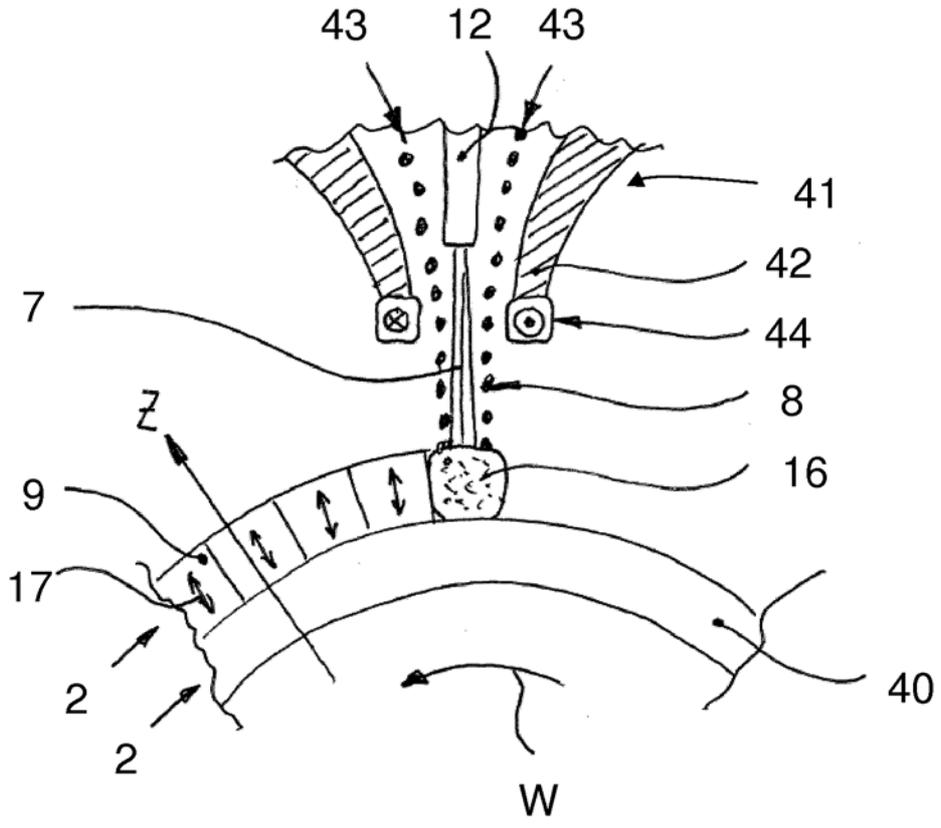


图 12

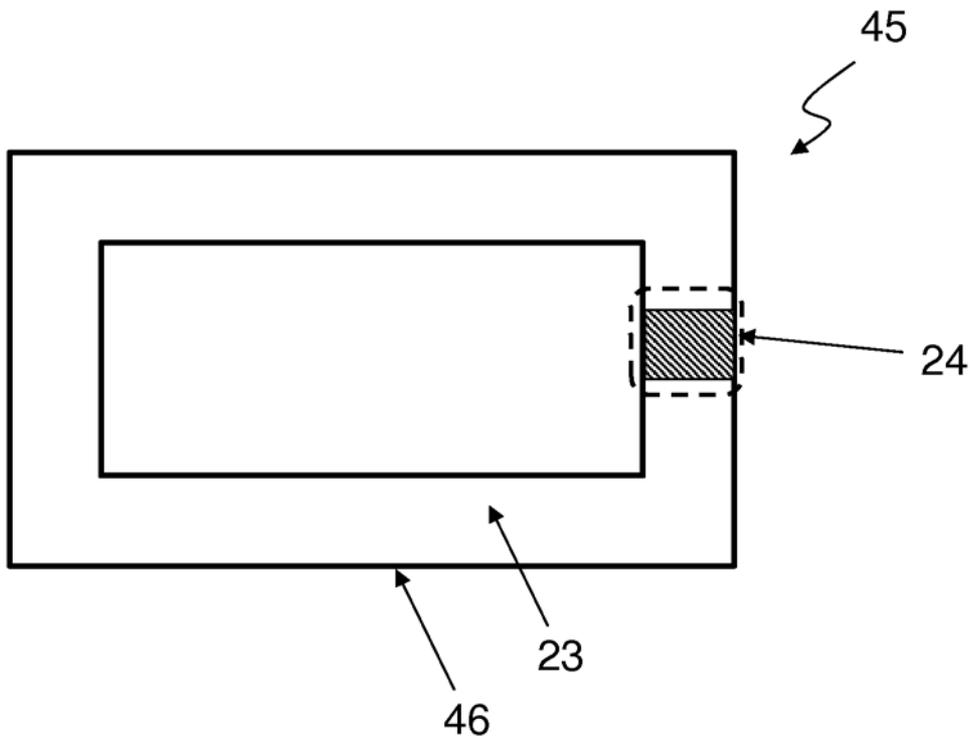


图 13

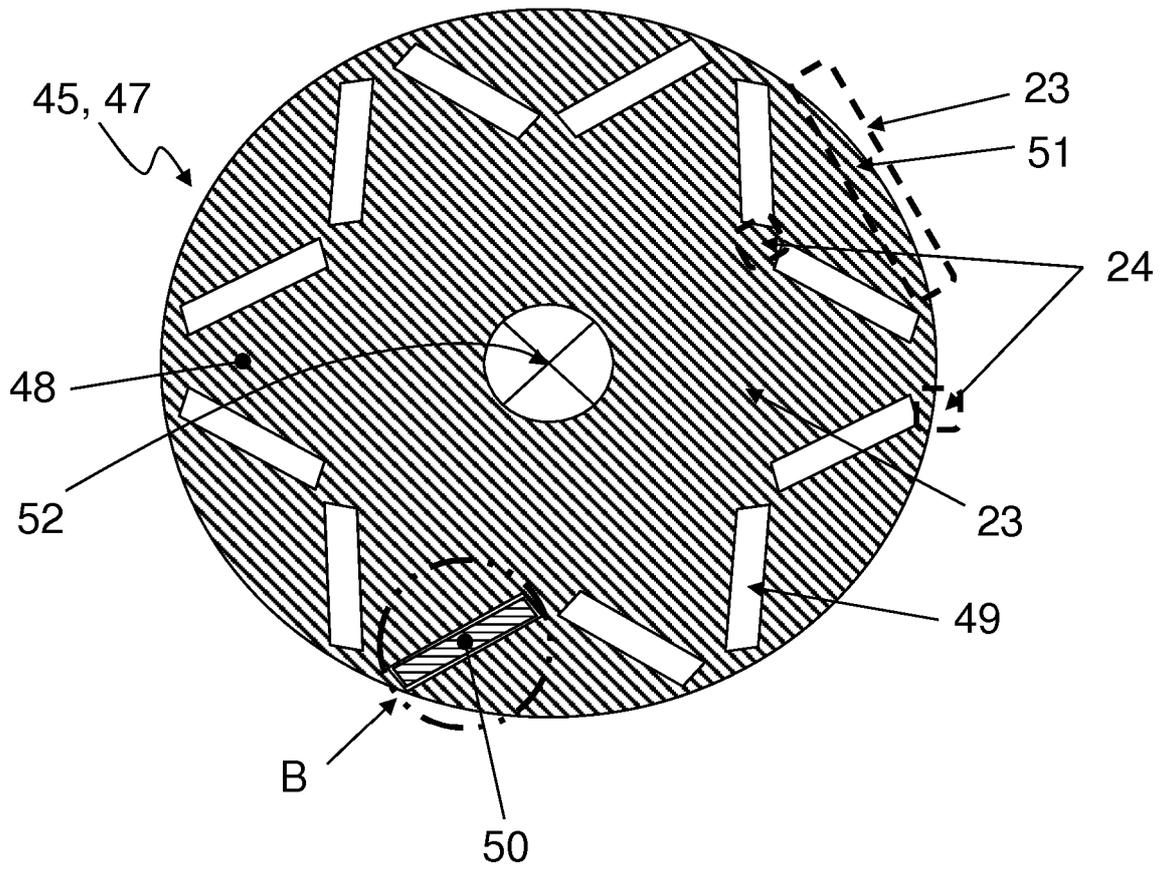


图 14

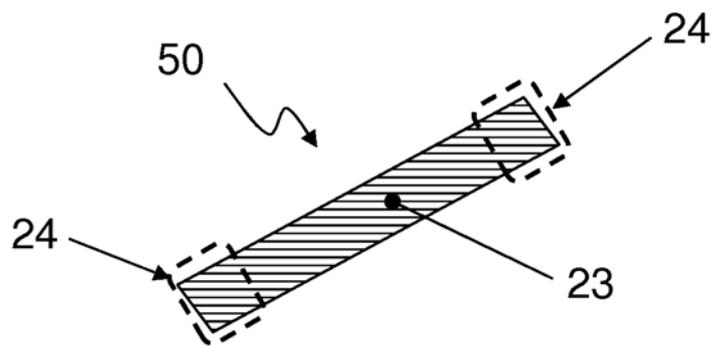


图 15