[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
*H05H 7/22* (2006.01)
*H05H 9/00* (2006.01)
*H05H 9/02* (2006.01)

[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680050561.6

[43] 公开日 2009 年 2 月 25 日

[11] 公开号 CN 101375644A

[22] 申请日 2006.11.14
[21] 申请号 200680050561.6
[30] 优先权
[32] 2005.11.14 [33] US [31] 60/737,028
[86] 国际申请 PCT/US2006/044297 2006.11.14
[87] 国际公布 WO2007/120211 英 2007.10.25
[85] 进入国家阶段日期 2008.7.7
[71] 申请人 劳伦斯利弗莫尔国家安全有限公司
地址 美国加利福尼亚州
共同申请人 TPL 公司
[72] 发明人 戴维·M·桑德尔 斯蒂芬·桑帕扬
柯克·斯伦斯 H·M·斯托勒

[74] 专利代理机构 上海市华诚律师事务所
代理人 傅强国 涂 勇

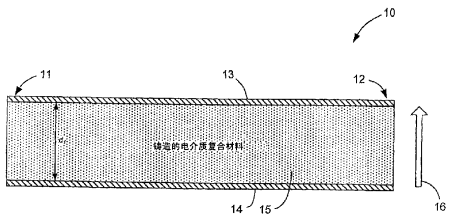
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 4 页

[54] 发明名称

# 铸造的电介质复合材料线性加速器

[57] 摘要

一种线性加速器，该线性加速器通过无溶剂制造工艺由铸造的电介质复合材料层与导体电极整体形成，该铸造的电介质复合材料优选具有在有机聚合物比如热固性树脂中的纳米颗粒填料。 通过使用该铸造的电介质复合材料，加速器中的传输线中的关键绝缘层的介电常数得到提高，同时使加速器保持较高的介电强度。



1. 一种紧凑型线性加速器，包括：

至少一个传输线，所述传输线朝着横向加速轴从第一端延伸到第二端，通过其来传播电波从而沿加速轴施以脉冲梯度，各个传输线包括：第一导体，所述第一导体具有第一端和邻近加速轴的第二端；邻近所述第一导体的第二导体，所述第二导体具有第一端和邻近加速轴的第二端；和铸造的电介质复合材料，所述铸造的电介质复合材料填充所述第一导体与所述第二导体之间的空间，其包括至少一种有机聚合物和至少一种介电常数比所述有机聚合物大的颗粒填料。

2. 如权利要求 1 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

所述第一导体和所述第二导体以及所述铸造的电介质复合材料具有从所述第一端纵向延伸到所述第二端的平行板条结构。

3. 如权利要求 1 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

两个所述传输线向所述横向加速轴延伸，以形成 Blumlein 模块，所述 Blumlein 模块包括第一导体、第二导体、在所述第一导体与所述第二导体之间的电介质复合材料、邻近所述第二导体并具有第一端和邻近加速轴的第二端的第三导体、以及第二电介质复合材料，所述第二电介质复合材料填充所述第二导体与所述第三导体之间的空间，其包括至少一种有机聚合物和至少一种介电常数比所述有机聚合物大的颗粒填料。

4. 如权利要求 3 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

所述第一电介质复合材料和所述第二电介质复合材料具有不同的介电常数，从而形成不对称 Blumlein 模块。

5. 如权利要求 3 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

所述第一电介质复合材料和所述第二电介质复合材料具有相同的介电常数，从而形成对称 Blumlein 模块。

6. 如权利要求 3 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

还包括至少一个与所述第一 Blumlein 模块对齐层叠的附加 Blumlein 模块。

7. 如权利要求 1 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

所述第一导体和所述第二导体上涂有选自于由导电层、半导电层、半绝缘层、和绝缘层所构成的组的材料。

8. 如权利要求 1 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

所述铸造的电介质复合材料的厚度大于 0.005 英寸。

9. 如权利要求 1 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

所述铸造的电介质复合材料的介电常数为 2～40。

10. 如权利要求 1 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

所述铸造的电介质复合材料在经受-55～125°C 的温度时介电常数的变化小于 15%。

11. 如权利要求 1 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

所述铸造的电介质复合材料的击穿电压大于 100 kV/cm。

12. 如权利要求 1 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

所述至少一种颗粒填料的粒度基本上在约 20～150 纳米之间。

13. 如权利要求 12 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

所述至少一种颗粒填料包括具有立方晶体结构的非耐火铁电体颗粒。

14. 如权利要求 13 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

所述电介质复合材料包括约 10～80 wt%的铁电体颗粒。

15. 如权利要求 13 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

所述铁电体颗粒是钡基陶瓷颗粒。

16. 如权利要求 13 所述的紧凑型线性加速器，其特征在于，

所述铁电体颗粒选自于由钛酸钡、钛酸锶、以及它们的混合物所构成的组。

17. 一种制造线性加速器的方法，包括：

铸造至少一种电介质复合材料板，所述电介质复合材料板包括至少一种有机聚合物和至少一种介电常数比所述有机聚合物大的颗粒填料；

用第二电介质复合材料涂覆所述铸造的电介质复合材料板，所述第二电介质复合材料的介电常数高于所述铸造的电介质复合材料板的介电常数；以及

将两个导体压向各个涂有第二电介质复合材料的铸造的电介质复合材料板，以便将所述第二电介质复合材料从其间挤出，使所述第二电介质复合材料完全填充三点区。

18. 如权利要求 17 所述的方法，其特征在于，

至少两个所述电介质复合材料板被铸造并涂有所述第二电介质复合材料，并且至少三个导体被设置并以交替层方式与所述涂有第二电介质复合材料的铸造的电介质复合材料板压合在一起。

19. 如权利要求 18 所述的方法，其特征在于，所述第二电介质复合材料还包括更高浓度的高介电常数的纳米颗粒。

20. 一种制造线性加速器的方法，包括：

使至少一个导体置于模腔内；

用电介质复合材料填充模腔从而至少部分地使导体浸没在所述电介质复合材料中，所述电介质复合材料包括至少一种有机聚合物和至少一种介电常数比有机聚合物大的颗粒填料；以及

固化所述电介质复合材料以整体铸造电介质复合材料和导体。

21. 如权利要求 20 所述的方法，其特征在于，

至少两个所述导体在模腔中彼此间隔，从而与所述铸造的电介质复合材料形成交替层设置。

# 铸造的电介质复合材料线性加速器

根据美国能源部与 Lawrence Livermore 国家实验室合作方加利福尼亚大学之间的合约 No.W-7405- ENG-48，美国政府对该发明拥有权利。

## 相关文献的引用

本申请要求 2005 年 11 月 14 日申请的美国临时申请 No.60/737,028 的优先权，在此将其全部内容引入本申请。

## 技术领域

本发明涉及线性加速器，尤其涉及一种具有电介质复合材料的线性加速器，其中该电介质复合材料被浇铸以填充加速器传输线中的导体电极之间的空间，该铸造的电介质复合材料具有较高的介电常数从而能沿粒子加速轴产生较高的电压脉冲梯度。

## 背景技术

粒子加速器用于增加带电原子粒子比如电子、质子、或带电原子核的能量，于是核子物理学家可对它们进行研究。使高能量的带电原子粒子加速运动以与靶原子碰撞，并用探测器观察产物。在很高的能量处，带电粒子能使靶原子中的细胞核分裂并与其他粒子相互作用。产生能揭示物质基本单元的性质和特性的转换。在开发核聚变装置以及用于医学领域比如癌症治疗方面，粒子加速器也是重要的工具。

需要改善线性加速器的结构和构造，以便在紧凑型结构中产生较高的电压脉冲梯度，从而能在紧凑型部件中产生、加速并控制加速粒子。特别地，非常需要将能传播电波的高介电常数材料结合到紧凑型 Blumlein 基线性加速器中以产生较高的电压脉冲梯度。

## 发明内容

本发明一方面包括一种紧凑型线性加速器，其包括：至少一个传输线，该传输线朝着横向加速轴从第一端延伸到第二端，用于传播通过其的电波从而沿加速轴产生脉冲梯度，各个传输线包括：第一导体，该导体具有第一端和邻近加速轴的第二端；邻近第一导体的第二导体，该第二导体具有第一端和邻近加速轴的第二端；和铸造的电介质复合材料，该复合材料填充第一导体与第二导体之间的空间并包括至少一种有机聚合物和至少一种其介电常数高于有机聚合物的介电常数的颗粒填料。

本发明另一方面包括一种制造线性加速器的方法，其包括：铸造至少一种电介质复合材料板，该电介质复合材料板包括至少一种有机聚合物和至少一种介电常数高于有机聚合物的介电常数的颗粒填料；用第二电介质复合材料涂覆铸造的电介质复合材料板，该第二电介质复合材料的介电常数高于铸造的电介质复合材料板的介电常数；将两个导体压向各个涂有第二电介质复合材料的铸造的电介质复合材料板，以便将第二电介质复合材料从其间挤出，从而用第二电介质复合材料完全填充三点区。

本发明另一方面包括一种制造线性加速器的方法，其包括：使至少一个导体位于模腔内；用电介质复合材料填充模腔从而至少部分地使导体浸没在该复合材料中，该电介质复合材料包括至少一种有机聚合物和至少一种介电常数大于有机聚合物的介电常数的颗粒填料空间；以及固化电介质复合材料以便整体铸造电介质复合材料和导体。

## 附图说明

构成本发明公开一部分的附图如下所述。

图 1 所示为本发明的线性加速器中的单个传输线的侧面剖视图。

图 2 是图 1 中的传输线的俯视图。

图 3 所示为本发明的线性加速器中的单个不对称 Blumlein 模块的第一实施方式的侧面剖视图，该模块包括具有不同介电常数和厚度的第一铸造电介质复合层和第二铸造电介质复合层。

图 4 所示为本发明的单个对称 Blumlein 模块的第二实施方式的侧面剖视图，该模块包括具有相同的电介质常数和厚度的第一铸造电介质复合材料和第二铸造电介质复合材料。

图 5 所示为本发明的第一示例的加速器制造方法中的其内具有导体的模具的俯视图。

图 6 是紧接着图 5 的将电介质复合材料注入模具中的模腔内之后的俯视图。

图 7 是紧接着图 6 的从模具中除去整体铸造的电介质复合材料和导体之后的俯视图。

图 8 所示为本发明的第二示例的加速器制造方法中的其内具有电介质复合材料的模具的侧视图。

图 9 是紧接着图 8 的从模具中制得的铸造电介质复合材料的侧视图。

图 10 是紧接着图 9 的两个铸造电介质复合层的俯视图，这两个铸造的电介质复合层涂有第二介电材料，并与导体电极交替设置以压成多层。

图 11 所示为紧接着图 10 的线性加速器的最终形态的侧视图，或者为线性加速器，其具有被挤出以填充三点区的第二电介质。

## 具体实施方式

下面对附图进行说明，图 1-2 所示为例举的本发明的线性加速器中的传输线，通常以标示数字 10 表示，通常包括至少一根传输线。该传输线结构包括第一导体 13、紧邻第一导体的第二导体 14、和填充导体之间的空间并以此处所述方式铸造的电介质复合材料 15。

如图所示，传输线 10 优选具有平行板条结构，即窄长结构，该结构典型地具有相同的宽度但并非必需如此。如图 1 和 2 所示的特定的传输线具有长形条或板条形结构，该传输线从第一端 11 延伸到第二端 12，并且具有相对于长度 l 较窄的宽度 Wn。传输线的该条带形结构有利于将传播的电信号从第一端 11 引导到第二端 12，从而在第二端处控制输出脉冲。特别地，可以通过合适地设置模块的宽度，例如通过使宽度成锥形（图中未显示）来控制波阵面形状。该条带结构使小型加速器能产生平坦的输出（电压）脉冲而不使脉冲变形，从而抑制粒子束获得随时间变化的能量增益。如此处和权利要求中所用的，第一端 11 是与开关（例如，图 3 中的 28）相连的那一端，第二端 12 是紧邻负载区比如紧邻用于粒子加速的加速轴 16 的输出脉冲区的那一端。

图 3 和 4 所示为两个例举的用于不对称 Blumlein 操作和对称 Blumlein 操作的本发明中的铸造电介质复合材料的线性加速器的实施方式。典型的 Blumlein 模块具有两个传输线，该传输线包括第一导体、第二导体、和第三导体、以及填充第一导体与第二导体之间的空间的第一电介质、和填充第二导体与第三导体之间的空间的第二电介质。虽然图 3 和 4 未显示，但线性加速器还包括：相连的高压电源，用于将第二导体带充电到高电势；和开关（比如，图 3 中的 28），该开关用于将第二导体带的高电势切换到第一导体带和第三导体带中的至少一个上，从而在相应电介质层中触发相反极性传播波阵面。

图 3 特别显示了紧凑型线性加速器的第一例举的实施方式，该紧凑型线性加速器通常用标示数字 20 表示，并且包括与开关 28 相连的单个不对称 Blumlein 模块（即，两个传输线）。如图 3 所示，优选的不对称 Blumlein 模块的窄条形结构包括三个成薄带形的平面导体，该平面导体被长形但更厚的条带形电介质复合材料隔离。特别地，第一平面导体带 23 和中间的第二平面导体带 25 被填充其间空间的第一电介质材料 24 隔离。此外，第二平面导体带 25 和第三平面导体带 26 被填充其间空间的第二电介质材料 27 隔离。优选通过电介质材料进行的隔离使平面导体带 23、25 和 26 如图所示彼此平行。

可选的第三电介质材料 29 也显示在图上，其用于罩住平面导体带和电介质复合带 23-27。第三电介质材料 29 是本领域已知的作为“电介质壁加速器”或“DWA”类型加速器中的电介质套或电介质壁，用于组合电波并且仅允许脉冲电压横越真空壁，从而缩短应力被施加到

真空壁上的时间并能获得更高的梯度。在将第三电介质材料 29 用于加速器中之前，其也可以用作用以转换电波即升高电压、改变阻抗等的区域。于是，第三电介质材料 29 和第二端 22 通常邻近如箭头 16 所示的负载区。特别地，箭头 16 表示粒子加速器中的加速轴，其指向粒子加速方向。优选加速方向取决于通过两个电介质带的快传输线和慢传输线的路径。

如图 3 所示，开关 28 在 Blumlein 模块中的第一端 21 处与平面导体带 23、25、和 26 各个第一端相连。开关用于首先将外部平面导体带 23、26 连接到地电位上，以及将中间导体带 25 连接到高压电源（未显示）上。然后，操作开关 28 以在第一端处形成短路从而触发通过 Blumlein 模块的传播电压波阵面，并在第二端处产生输出脉冲。特别地，开关 28 能在至少一种从第一端到第二端的电介质中触发相反极性传播波阵面，这依赖于构造的 Blumlein 模块是用于对称操作或用于不对称操作。

如图 3 所示，当构造的 Blumlein 模块用于不对称操作时，Blumlein 模块包括具有不同介电常数和厚度（d1≠d2）的电介质复合材料层 24、27。Blumlein 的不对称操作产生不同的通过电介质层的传播波速。优选第二电介质复合带 27 的传播速度基本上低于第一电介质带 24 的传播速度，比如实施例为 3:1，其中传播速度分别由 $v_2$、和 $v_1$限定，其中 $v_2 = \{\mu_2\varepsilon_2)^{-0.5}$ 并且 $v_1=(\mu_1\varepsilon_1)^{-0.5}$；渗透率 $\mu_1$、和电容率 $\varepsilon_1$是第一电介质材料的材料常数；渗透率 $\mu_2$、和电容率 $\varepsilon_2$是第二电介质材料的材料常数。通过选择用于第二电介质带的材料，使其具有比第一电介质带的介电常数即 $\mu_1\varepsilon_1$更大的介电常数即 $\mu_2\varepsilon_2$，可达到上述目的。如图 3 所示，例如，第一电介质带的厚度用 $d_1$表示，第二介质带的厚度用 $d_2$表示，其中 $d_2$大于 $d_1$。通过将 $d_2$设置得大于 $d_1$，不同空间与不同介电常数的组合可使第二平面导体带 25 的两个侧面上具有相同的特性阻抗 Z。值得注意的是，虽然两个等分面上的特性阻抗可以相同，但通过各个等分面的信号传播速度不一定相同。

图 4 所示为用附图标记 30 表示的线性加速器中的对称 Blumlein 构造，该构造包括与第一铸造的电介质复合材料 34 和第二铸造的电介质复合材料 37 多层交替设置的第一导体 33、第二导体 35 和第三导体 36。然而，当构造的 Blumlein 模块用于对称操作时，电介质复合材料带 34、35 具有相同的介电常数，并且其厚度和宽度（$d_1=d_2$）也是相同的。此外，如图 4 所示，还设置有非常接近于第二电介质复合材料带 37 的磁性材料 40，从而抑制波阵面在该条带上传播。通过该方式，开关适合于仅触发第一电介质复合材料带 34 中传播的相反极性波阵面。

优选开关 28 和 38 是适用于不对称 Blumlein 模块操作或对称 Blumlein 模块操作的开关，比如，气体放电闭合开关、表面放电闭合开关、固态开关、光电导开关。进一步优选可以合

适地选择开关和电介质材料的类型/尺寸，从而使紧凑型加速器能在各种加速梯度、包括例如超过每米 20 兆伏的梯度处运行。然而，作为一种设计，也可以实现更低的梯度。优选使用本发明的电介质复合材料制造的 Blumlein 模块可以进行层叠，以形成单加速单元，即包括至少一个与第一 Blumlein 模块成列层叠的附加 Blumlein 模块。叠层可以具有不同的介电常数和厚度。

通常，用于图 1 中的层 15、图 3 中的层 24 和 27、以及图 4 中的层 34 和 37 的铸造电介质复合材料通常是如美国专利 No.6,608,760 中所述的类型，在此将其引入本发明，但本发明使用铸造工艺而非轧制成形工艺制造，从而具有优选的用于高能粒子加速的 2～40 的较高介电常数。于是，铸造的电介质复合材料包括至少一种有机聚合物和至少一种颗粒填料，该有机聚合物和颗粒填料被铸造在一起形成复合材料基体。颗粒填料的介电常数大于有机聚合物的介电常数。优选至少一种有机聚合物具有高于 140°C 的 Tg，并且铸造的电介质复合材料的介电常数在-55～125°C 的温度范围内的变化小于 15%。铸造该电介质复合材料可使本发明的传输线具有超过 100 kV/cm 的极高击穿电压。

优选颗粒填料是具有立方晶体结构的非耐火型铁电体颗粒，该颗粒在较宽的温度范围内具有较高的且变化稳定的介电常数。此处使用的术语“非耐火型铁电体颗粒”是指由一种或多种铁电材料制成的颗粒。优选铁电材料包括钛酸钡、钛酸锶、钡钕钛酸盐、钡锶钛酸盐、锆酸镁、二氧化钛、钛酸钙、钡镁钛酸盐、铅锆钛酸盐和它们的混合物。

此外，用于本发明的铁电体颗粒可以具有约 20～约 150 纳米的粒度。优选颗粒实质上为纳米颗粒，也就是说，该颗粒具有小于 100 纳米的粒度，优选具有约 50 纳米的粒度。还优选至少 50%的铁电体颗粒具有 50～100 纳米的粒度，优选具有 40～60 纳米的粒度。用于本发明的铁电体颗粒优选通过非耐火法比如沉淀法制造，比如例举的由 TPL 有限公司制造的 50 纳米的钛酸钡纳米颗粒或钛酸锶纳米颗粒。

铁电体颗粒与至少一种聚合物组合以形成电介质层。铁电体颗粒可以与包括一种或多种树脂的电介质层中的残余物一起存在于电介质层中，并且在该电介质层中，铁电体颗粒的量优选为约 10～80 wt%或者优选为约 15～50 vol%，最优选为约 20～40 vol%。铁电体颗粒优选与一种或多种通常用于制造电介质印刷电路板层的树脂组合使用。树脂可以包括如下材料：比如，硅酮树脂、氰酸酯树脂、环氧树脂、聚酰胺树脂、Kapton 材料、双马来酰亚胺三嗪树脂、聚氨酯树脂、上述树脂的混合物、以及任何可用于制造电介质基底材料的其他树脂。优选树脂是具有较高 Tg 的树脂。较高的 Tg 是指使用的树脂应当具有高于 140°C 的固化 Tg。进

一步优选树脂的 Tg 超过 160°C，最优选超过 180°C。优选的树脂是 AlliedSignal 有限公司制造的 406-N 树脂。

虽然用于本发明的电介质复合材料实质上与美国专利 No.6,608,760 中公开的电介质复合材料相同，但本发明中的制造方法利用了铸造方法，以制备用于线性加速器的铸造的电介质复合材料的平板层。

图 5-7 中显示了制造线性加速器的第一例举的方法。模具 50 具有模腔 51，该模腔内间隔地设置了导体，比如导体平板/条带 52。在图 6 中，将尚未固化的和液体电介质复合材料浆料注入或以其他方式引入模腔中以至少部分地浸没导体。然后，在合适的温度和压力处固化电介质复合材料。例如，固化温度可以为 50～150 °C，压力可以在约 100～约 1500 psi 的范围内变化。在固化后，如图 7 所示，铸造体 54 基本上被制造成模腔的形状，该铸造体中的铸造电介质复合材料围绕导体电极，以便最小化边缘处的电场。

图 8-11 所示为制造本发明的线性加速器的第二例举方法。在图 8 中，设置模具 60，其中将电介质复合材料的浆料 61 注入或以其他方式引入模腔内，如图 9 所示，从模具 60 中得到电介质复合材料板 61，该电介质复合材料板被铸造成模具的形状。在图 10 中，铸造的电介质复合材料 61 上层叠有与导体电极 71、72、和 73 交替设置的附加铸造电介质复合材料（附图标记 62、63、和 64）。然而，在组合各层之前，图 10 还显示在电介质平板的接触面上涂敷有更高介电常数的第二材料（附图标记 65、66、67、68、和 69）。第二介电材料也优选为此处所述的电介质复合材料类型，但其具有更高浓度的具有较高介电常数的纳米颗粒。然后如箭头 74 和 75 所示，将导体 71、72、和 73 压向涂覆第二电介质的电介质平板 61、62、63、和 64，从而将第二电介质材料从导体与电介质复合材料板之间挤出。优选导电电极上涂有导电层、半导电层、绝缘层、或半绝缘层中的一种。图 11 所示为用该方式制造的线性加速器的最终形态 80，其中第二介电材料 81-83 填充导体与电介质复合材料板的分离处的三点区。通过该方式，可降低边缘处的电场以提高性能。

为使电介质层具有强度，电介质层可以包括可选的第二填充材料。第二填充材料的例子包括织物材料或非织物材料，比如，石英、石英玻璃、电子分级玻璃、和陶瓷、以及聚合物比如芳族聚酰胺、液晶聚合物、芳香族聚酰胺、或聚酯、细粒材料比如陶瓷聚合物、以及其它常用于制造印刷电路板衬底的填料和增强材料。在电介质层中，可选的第二填充材料的量可为约 20～70 wt%，优选为约 35～65 wt%。

本发明中的电介质材料可包括其他可选的常用于制造电介质层的成分。例如，为增加电介质层的强度，电介质颗粒和/或第二填充材料可以包括粘合剂以粘结填料与树脂材料。此外，

用于本发明的树脂组合物可以包括偶联剂比如硅烷偶联剂、锆酸盐和钛酸盐。此外，用于本发明的树脂组合物可以包括表面活性剂和润湿剂以控制颗粒团聚或涂层表面的外观。使用本发明的树脂/铁电体颗粒制造的电介质层优选具有大于 0.005 英寸的厚度。

虽然本发明描述了特定的操作程序、材料、温度、参数、以及特定的实施方式，但本发明并不限于此。对本领域的技术人员来说，本发明的某些改进和变换是显而易见的，从而也在附后的本发明的权利要求的保护范围之内。

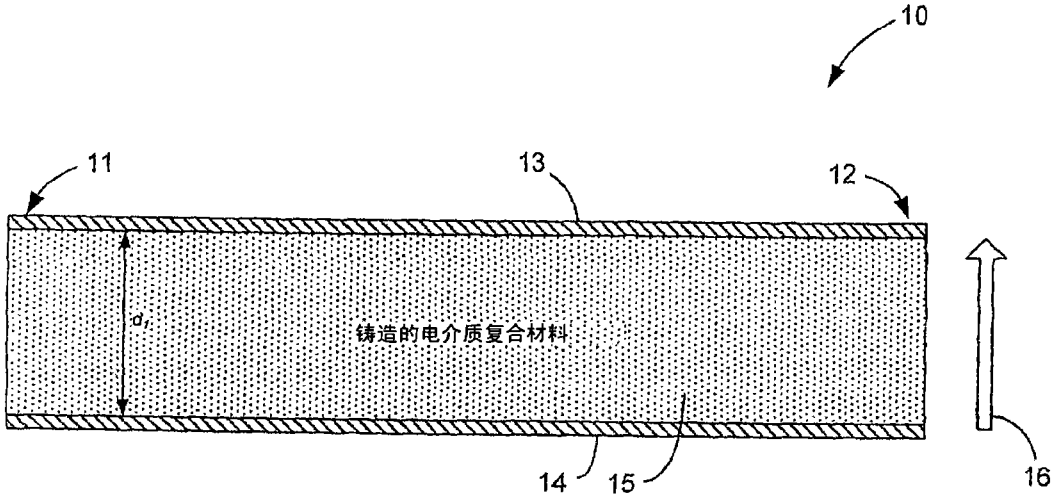



图 1

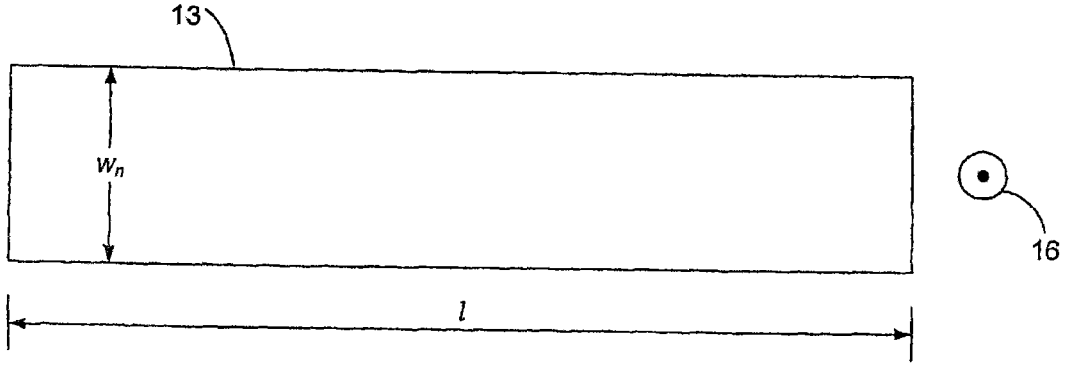



图 2

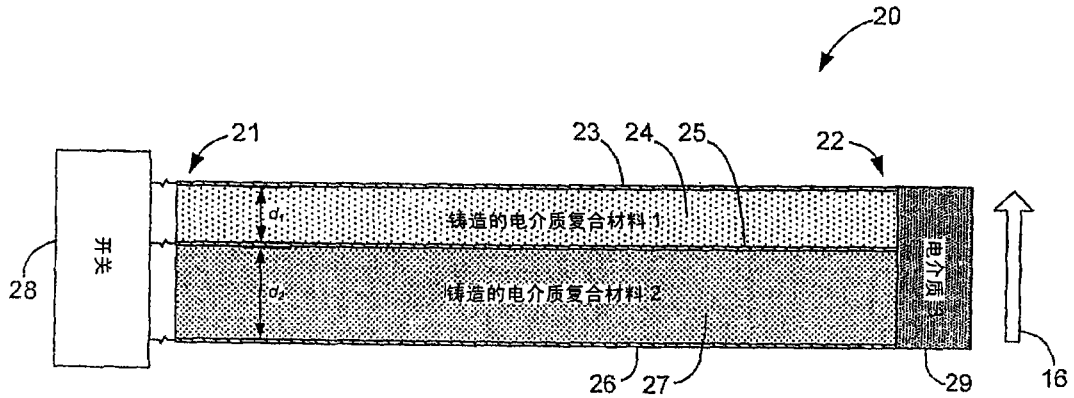

20
21
23
24
25
22
开关
28
$d_1$
$d_2$
铸造的电介质复合材料1
铸造的电介质复合材料2
电介质
26
27
29
16

图 3

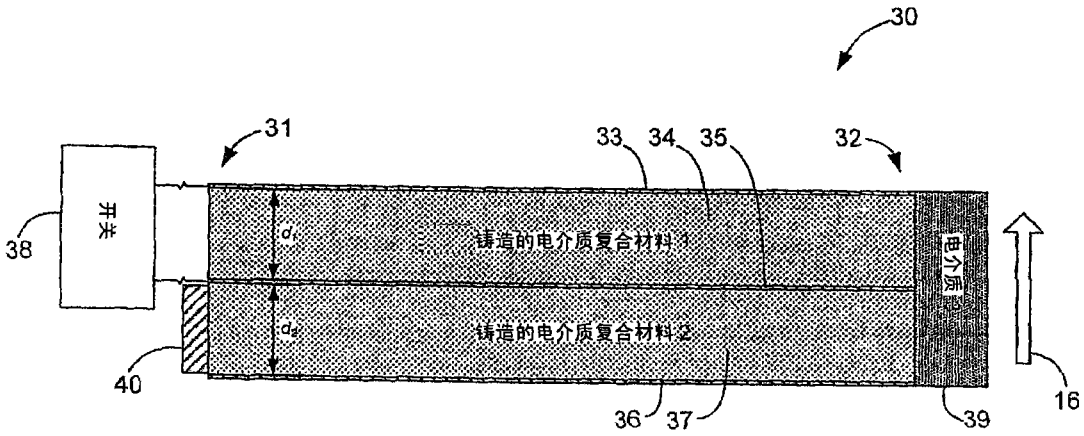

30
31
33
34
35
32
开关
38
$d_1$
$d_2$
铸造的电介质复合材料1
铸造的电介质复合材料2
电介质
40
36
37
39
16

图 4

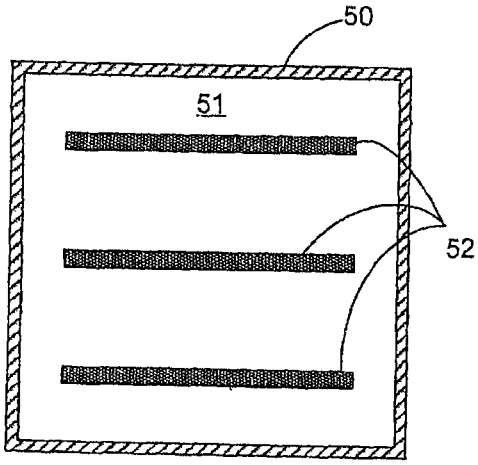



图 5

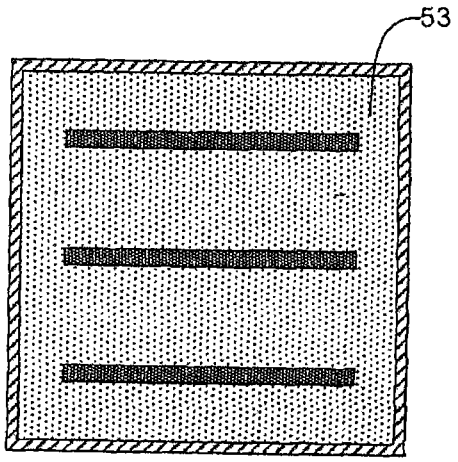



图 6

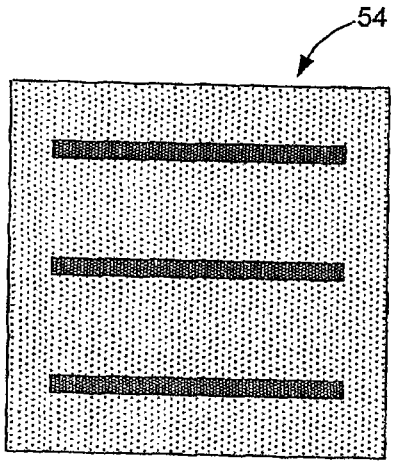



图 7

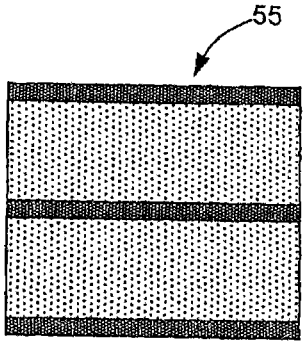



图 8

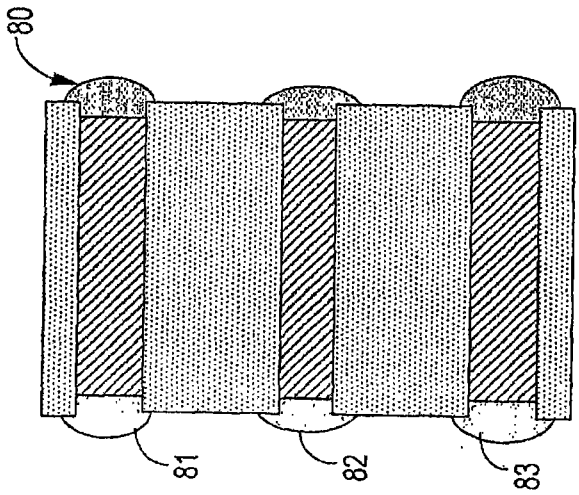



图 11

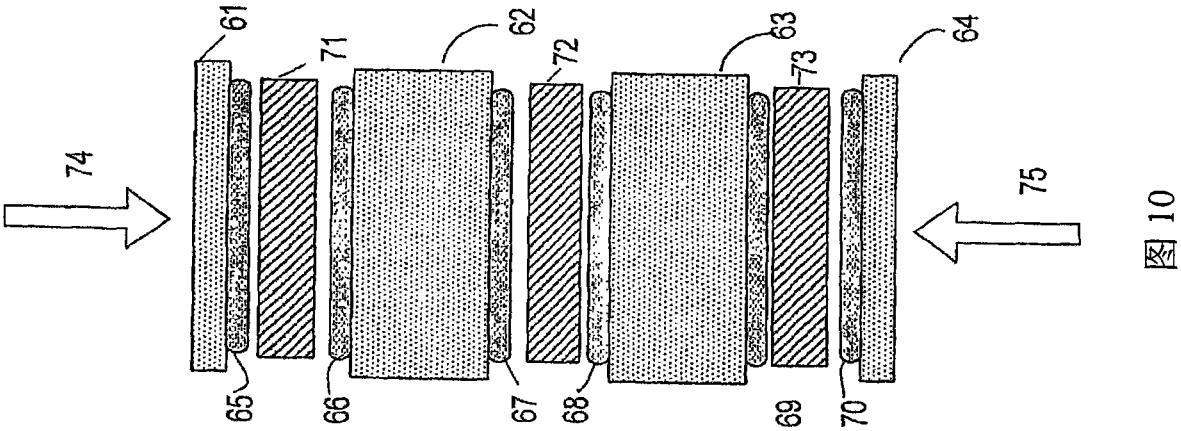



图 10

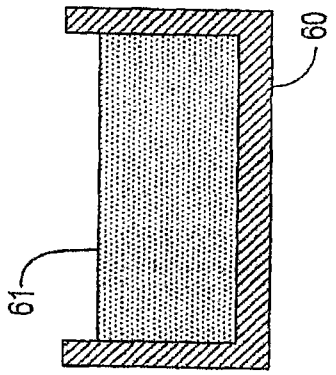



图 8

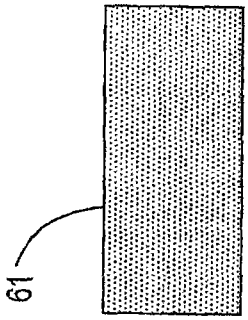



图 9