



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102411133 B

(45) 授权公告日 2015. 03. 25

(21) 申请号 201110185497. 5

CN 1695067 A, 2005. 11. 09,

(22) 申请日 2011. 06. 30

CN 1878498 A, 2006. 12. 13,

(30) 优先权数据

CN 101158714 A, 2008. 04. 09,

1015969. 7 2010. 09. 22 GB

审查员 王改英

(73) 专利权人 特斯拉工程有限公司

地址 英国苏塞克斯

(72) 发明人 M·C·贝格

(74) 专利代理机构 北京北翔知识产权代理有限

公司 11285

代理人 杨勇 郑建晖

(51) Int. Cl.

G01R 33/385(2006. 01)

(56) 对比文件

EP 1338901 A1, 2003. 08. 27,

CN 1553212 A, 2004. 12. 08,

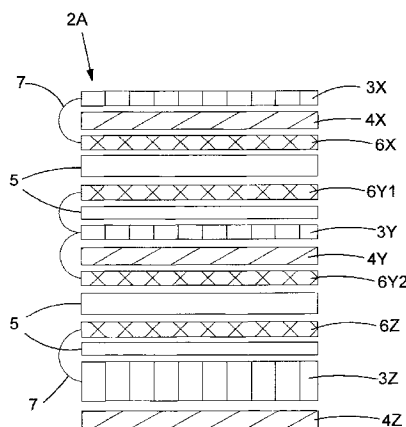
权利要求书5页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

梯度线圈组件

(57) 摘要

一种 MRIS 梯度线圈组件 2A, 包括: 第一线圈层, 其包括第一导电线圈部分 3X; 第二线圈层, 其包括第二导电线圈部分 3Y。在所述第一线圈层 3X 和所述第二线圈层 3Y 之间布置有第一屏蔽层 6X, 并包括至少一个屏蔽材料片。在所述第一导电线圈部分 3X 和所述第一屏蔽层 6X 之间设置有至少一个包括绝缘材料的绝缘层 4X。所述组件还包括至少一个离散的接触工具 7, 其将所述第一导电线圈部分 3X 电连接到所述屏蔽材料片 6X, 而所述屏蔽材料片 6X 被所述至少一个绝缘材料层 4X 阻止与所述第一导电线圈部分 3X 电接触, 除非经由所述至少一个离散的接触工具。通常, 所述屏蔽材料可以包括半导体片。



1. 一种磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,包括:

第一线圈层,其包括第一导电线圈部分;

第二线圈层,其包括第二导电线圈部分;

第一屏蔽层,其被布置在所述第一线圈层和所述第二线圈层之间,并包括至少一个屏蔽材料片;以及

被设置在所述第一导电线圈部分和所述第一屏蔽层之间的至少一个包括绝缘材料的绝缘层、以及在所述第二导电线圈部分和所述第一屏蔽层之间的至少一个另外的包括绝缘材料的绝缘层,其中

所述屏蔽材料片的方块电阻大于所述线圈层的方块电阻并小于所述绝缘层的方块电阻,

所述组件包括至少一个离散的接触工具,其将所述第一导电线圈部分电连接到所述屏蔽材料片,并且所述屏蔽材料片被所述至少一个包括绝缘材料的绝缘层阻止与所述第一导电线圈部分电接触,除非经由所述至少一个离散的接触工具,以使得,在使用中,所述屏蔽层通过减小所述屏蔽层和所述第一导电线圈部分之间的区域中的电场,来帮助使该区域中的局部放电最小化,而不阻止所述梯度线圈组件执行其全部功能。

2. 根据权利要求1所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中所述至少一个屏蔽材料片是半导电的材料片。

3. 根据权利要求1或2所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中所述屏蔽材料片包括:浸渍石墨的片材料,或者导电材料网格。

4. 根据权利要求1或2所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中所述屏蔽材料片被选择为使得其能在比典型梯度线圈驱动电压变化时期短的时期内达到均匀的电势,从而抑制在磁共振成像和波谱分析中感生具有有害波期的涡电流。

5. 根据权利要求1或2所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中所述屏蔽材料片具有10毫欧每平方到10千欧每平方的方块电阻。

6. 根据权利要求1或2所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中所述屏蔽材料片具有30毫欧每平方到1千欧每平方的方块电阻。

7. 根据权利要求1所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,包括第三线圈层,其包括第三导电线圈部分,所述第三线圈层被布置为使得所述第二线圈层被布置在所述第一线圈层和所述第三线圈层之间。

8. 根据权利要求7所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中在所述第二线圈层和所述第三线圈层之间设置有一个或多个相应的屏蔽层。

9. 根据权利要求1或2所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,包括被布置在所述第一屏蔽层和所述第二线圈层之间的第二屏蔽层,所述第二屏蔽层包括至少一个屏蔽材料片,该屏蔽材料片经由至少一个相应的离散的接触工具电连接到所述第二导电线圈部分,并且该屏蔽材料片被至少一个相应的绝缘层阻止与所述第二导电线圈部分电接触,除非经由所述至少一个相应的离散的接触工具。

10. 根据权利要求7所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,包括被布置在所述第一屏蔽层和所述第二线圈层之间的第二屏蔽层,所述第二屏蔽层包括至少一个屏蔽材料片,该屏蔽材料片经由至少一个相应的离散的接触工具电连接到所述第二导电线圈部分,

并且该屏蔽材料片被至少一个相应的绝缘层阻止与所述第二导电线圈部分电接触,除非经由所述至少一个相应的离散的接触工具。

11. 根据权利要求 9 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中在所述第一屏蔽层和所述第二屏蔽层之间设置有至少一个另外的绝缘层。

12. 根据权利要求 10 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中在所述第一屏蔽层和所述第二屏蔽层之间设置有至少一个另外的绝缘层。

13. 根据权利要求 10 或 12 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件包括被布置在所述第三线圈层和所述第二线圈层之间的第三屏蔽层,所述第三屏蔽层包括至少一个屏蔽材料片,该屏蔽材料片经由至少一个相应的离散的接触工具电连接到所述第三导电线圈部分,并且该屏蔽材料片被至少一个相应的绝缘层阻止与所述第三导电线圈部分电接触,除非经由所述至少一个相应的离散的接触工具。

14. 根据权利要求 13 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,包括被布置在所述第三屏蔽层和所述第二线圈层之间的第四屏蔽层,所述第四屏蔽层包括至少一个屏蔽材料片,该屏蔽材料片经由至少一个相应的离散的接触工具电连接到所述第二导电线圈部分,并且该屏蔽材料片被至少一个相应的绝缘层阻止与所述第二导电线圈部分电接触,除非经由所述至少一个相应的离散的接触工具。

15. 根据权利要求 14 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中在所述第三屏蔽层和所述第四屏蔽层之间设置有至少一个另外的绝缘层。

16. 根据权利要求 1 或 2 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中所述线圈组件被布置为使得所述第一导电线圈部分和所述第一屏蔽层的屏蔽材料片之间存在最多三个离散的电连接。

17. 根据权利要求 9 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中所述线圈组件被布置为使得所述第二导电线圈部分和所述第二屏蔽层的屏蔽材料片之间存在最多三个离散的电连接。

18. 根据权利要求 10 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中所述线圈组件被布置为使得所述第二导电线圈部分和所述第二屏蔽层的屏蔽材料片之间存在最多三个离散的电连接。

19. 根据权利要求 13 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中所述线圈组件被布置为使得所述第三导电线圈部分和所述第三屏蔽层的屏蔽材料片之间存在最多三个离散的电连接。

20. 根据权利要求 14 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中所述线圈组件被布置为使得所述第二导电线圈部分和所述第四屏蔽层的屏蔽材料片之间存在最多三个离散的电连接。

21. 根据权利要求 1 或 2 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中所述至少一个包括绝缘材料的绝缘层包括 B 阶材料。

22. 根据权利要求 9 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中在所述第二屏蔽层和所述第二线圈层之间的至少一个绝缘层包括 B 阶材料。

23. 根据权利要求 10 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中在所述第二屏蔽层和所述第二线圈层之间的至少一个绝缘层包括 B 阶材料。

24. 根据权利要求 13 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中在所述第三屏蔽层和所述第三线圈层之间的至少一个绝缘层包括 B 阶材料。

25. 根据权利要求 14 所述的磁共振成像和波谱分析梯度线圈组件,其中在所述第四屏蔽层和所述第二线圈层之间的至少一个绝缘层包括 B 阶材料。

26. 一种制造梯度线圈组件的方法,包括以下步骤:

提供第一线圈层,其包括第一导电线圈部分;

提供第二线圈层,其包括第二导电线圈部分;

提供第一屏蔽层,其被布置在所述第一线圈层和所述第二线圈层之间,并包括至少一个屏蔽材料片;以及

提供至少一个包括绝缘材料的绝缘层以及至少一个另外的包括绝缘材料的绝缘层,所述至少一个包括绝缘材料的绝缘层被设置在所述第一导电线圈部分和所述第一屏蔽层之间,所述至少一个另外的包括绝缘材料的绝缘层在所述第二导电线圈部分和所述第一屏蔽层之间,其中

所述屏蔽材料片的方块电阻大于所述线圈层的方块电阻并小于所述绝缘层的方块电阻,

提供至少一个离散的接触工具,其将所述第一导电线圈部分电连接到所述屏蔽材料片,并且所述屏蔽材料片被所述至少一个包括绝缘材料的绝缘层阻止与所述第一导电线圈部分电接触,除非经由所述至少一个离散的接触工具,以使得,在使用中,所述屏蔽层通过减小所述屏蔽层和所述第一导电线圈部分之间的区域中的电场,来帮助使该区域中的局部放电最小化,而不阻止所述梯度线圈组件执行其全部功能。

27. 根据权利要求 26 所述的方法,其中所述至少一个屏蔽材料片是半导电的材料片。

28. 根据权利要求 26 或 27 所述的方法,其中所述屏蔽材料片包括:浸渍石墨的片材料,或者导电材料网格。

29. 根据权利要求 26 或 27 所述的方法,其中所述屏蔽材料片被选择为使得其能在比典型梯度线圈驱动电压变化时期短的时期内达到均匀的电势,从而抑制在磁共振成像和波谱分析中感生具有有害波期的涡电流。

30. 根据权利要求 26 或 27 所述的方法,其中所述屏蔽材料片具有 10 毫欧每平方到 10 千欧每平方的方块电阻。

31. 根据权利要求 26 或 27 所述的方法,其中所述屏蔽材料片具有 30 毫欧每平方到 1 千欧每平方的方块电阻。

32. 根据权利要求 26 所述的方法,提供第三线圈层,其包括第三导电线圈部分,所述第三线圈层被布置为使得所述第二线圈层被布置在所述第一线圈层和所述第三线圈层之间。

33. 根据权利要求 32 所述的方法,其中在所述第二线圈层和所述第三线圈层之间提供一个或多个相应的屏蔽层。

34. 根据权利要求 26 或 27 所述的方法,在所述第一屏蔽层和所述第二线圈层之间提供第二屏蔽层,所述第二屏蔽层包括至少一个屏蔽材料片,该屏蔽材料片经由至少一个相应的离散的接触工具电连接到所述第二导电线圈部分,并且该屏蔽材料片被至少一个相应的绝缘层阻止与所述第二导电线圈部分电接触,除非经由所述至少一个相应的离散的接触工具。

35. 根据权利要求 32 所述的方法,在所述第一屏蔽层和所述第二线圈层之间提供第二屏蔽层,所述第二屏蔽层包括至少一个屏蔽材料片,该屏蔽材料片经由至少一个相应的离散的接触工具电连接到所述第二导电线圈部分,并且该屏蔽材料片被至少一个相应的绝缘层阻止与所述第二导电线圈部分电接触,除非经由所述至少一个相应的离散的接触工具。

36. 根据权利要求 34 所述的方法,其中在所述第一屏蔽层和所述第二屏蔽层之间提供至少一个另外的绝缘层。

37. 根据权利要求 35 述的方法,其中在所述第一屏蔽层和所述第二屏蔽层之间提供至少一个另外的绝缘层。

38. 根据权利要求 35 或 37 所述的方法,在所述第三线圈层和所述 第二线圈层之间提供第三屏蔽层,所述第三屏蔽层包括至少一个屏蔽材料片,该屏蔽材料片经由至少一个相应的离散的接触工具电连接到所述第三导电线圈部分,并且该屏蔽材料片被至少一个相应的绝缘层阻止与所述第三导电线圈部分电接触,除非经由所述至少一个相应的离散的接触工具。

39. 根据权利要求 38 所述的方法,在所述第三屏蔽层和所述第二线圈层之间提供第四屏蔽层,所述第四屏蔽层包括至少一个屏蔽材料片,该屏蔽材料片经由至少一个相应的离散的接触工具电连接到所述第二导电线圈部分,并且该屏蔽材料片被至少一个相应的绝缘层阻止与所述第二导电线圈部分电接触,除非经由所述至少一个相应的离散的接触工具。

40. 根据权利要求 39 所述的方法,其中在所述第三屏蔽层和所述第四屏蔽层之间提供至少一个另外的绝缘层。

41. 根据权利要求 26 或 27 所述的方法,其中所述线圈组件被布置为使得所述第一导电线圈部分和所述第一屏蔽层的屏蔽材料片之间存在最多三个离散的电连接。

42. 根据权利要求 34 所述的方法,其中所述线圈组件被布置为使得所述第二导电线圈部分和所述第二屏蔽层的屏蔽材料片之间存在最多三个离散的电连接。

43. 根据权利要求 35 所述的方法,其中所述线圈组件被布置为使得所述第二导电线圈部分和所述第二屏蔽层的屏蔽材料片之间存在最多三个离散的电连接。

44. 根据权利要求 38 所述的方法,其中所述线圈组件被布置为使得所述第三导电线圈部分和所述第三屏蔽层的屏蔽材料片之间存在最多三个离散的电连接。

45. 根据权利要求 39 所述的方法,其中所述线圈组件被布置为使得所述第二导电线圈部分和所述第四屏蔽层的屏蔽材料片之间存在最多三个离散的电连接。

46. 根据权利要求 26 或 27 所述的方法,其中所述至少一个包括绝缘材料的绝缘层包括 B 阶材料。

47. 根据权利要求 34 所述的方法,其中在所述第二屏蔽层和所述 第二线圈层之间的至少一个绝缘层包括 B 阶材料。

48. 根据权利要求 35 所述的方法,其中在所述第二屏蔽层和所述第二线圈层之间的至少一个绝缘层包括 B 阶材料。

49. 根据权利要求 38 所述的方法,其中在所述第三屏蔽层和所述第三线圈层之间的至少一个绝缘层包括 B 阶材料。

50. 根据权利要求 39 所述的方法,其中在所述第四屏蔽层和所述第二线圈层之间的至少一个绝缘层包括 B 阶材料。

51. 一种磁共振成像仪器,其包括根据权利要求 1 到 25 之中任一权利要求所述的梯度线圈组件。

梯度线圈组件

技术领域

[0001] 本发明涉及用在磁共振成像和波谱分析 (spectroscopy) (MRIS) 中的梯度线圈组件 (gradient coil assemblies)。

背景技术

[0002] 一台 MRI 仪器通常包括至少三个独立的电气绕组,每个电气绕组通常被用于编码一个笛卡尔维度 (Cartesian dimension) (X、Y 和 Z)。因此,一台 MRI 仪器的一个梯度线圈组件中通常有 X 线圈、Y 线圈和 Z 线圈。

[0003] 这些绕组可以承载高达几百安培,并且通常在短至 100 微秒的时间内被激励 (energised) 和去激励 (de-energised)。为了获得这样的转换,必须对这些绕组施加电压 (通常高达 2kV)。该电压被施加几微秒。分立的绕组独立地被激励和去激励,但有时可以同时激励或去激励多于一个的绕组。这样的情况进一步增加了线圈结构中存在的潜在差异。

[0004] 梯度线圈组件在装配后通常以环氧树脂浸渍,以确保良好的电气和机械完整性 (integrity)。这样的树脂系统的一个已知特性是:在某一潜在差别阈值之上,在具有高电应力 (electrical stress) 的区域会发生已知为“局部放电”的现象。这一现象是电介质 (dielectric) 中的空隙 (voids) 的内表面周围的微观电荷再分布的结果。这样的放电产生了宽带电干扰 (broadband electrical interference),其对用在 MRIS 中的灵敏射频探测系统有害。

[0005] 一般认为,如果绝缘系统中存在气泡,或者梯度线圈组件中构成绕组的金属线圈部分存在尖点 (sharp point),则会在较低的电压水平出现局部放电起始电压 (PDIV)。

[0006] 构成典型的梯度线圈的 X 线圈、Y 线圈和 Z 线圈可以由具有用以形成电流路径的切割图案 (cut pattern) 的铜板或其他合适的金属板制成,或者可以由实心或空心的金属导体绕成。一旦路径形成,所产生的线圈就被机械地巩固,以使得其能在不使金属匝以非受控方式散开或改变形状的前提下被操纵。这些线圈常常由一些不导电的衬垫 (backing)/ 基底 (substrate) 巩固和支撑。

[0007] 在一种方法中,一个线圈的图案形成,然后,为了巩固线圈匝,使用环氧树脂或其他树脂以及热压机 (hot press) 将复合衬垫结合到该线圈。一旦巩固,该线圈就可以形成所要求的非平面形状,而不使电流路径以不期望的方式移动。一旦梯度线圈已经形成,它们就被装配成梯度线圈组件。整个组件通常以环氧树脂或其他树脂真空浸渍,然后固化一段时间,以巩固整个组件。

[0008] 环氧树脂、玻璃布以及其他绝缘材料通常具有高介电强度和大约 2 到 6 之间的相对高的相对介电常数。在没有瑕疵时,这些绝缘材料可以承受在 MRIS 中通常采用的电压水平。然而,如果这些绝缘材料中存在空隙,则材料的相对介电常数和空隙的相对介电常数之间的大差异会导致空隙中的电场增强,从而可以在相对低的电压水平 (例如 1kV) 出现 PDIV。

[0009] 导致低 PDIV 的两个主要原因是空气泡以及金属线圈上的尖点或毛刺 (burr)。

[0010] 在存在空气泡的情况下,空气泡中的电场可以比空气泡周围材料中的电场大得多。在空气中,在大约为 3kV/mm 的场强发生放电。这种场强可以出现在 MRIS 仪器中的梯度线圈组件中的空气泡中。

[0011] 一般而言,由于电场集中在尖点,尖点也会降低 PDIV。如果梯度线圈中的绝缘材料中的空气泡区域存在毛刺,则由该毛刺造成的电场增强易于导致局部放电。

[0012] 如上文提及的,为了构建梯度线圈组件,惯常的是:巩固个体线圈/绕组,并将这些线圈构建成完整的线圈组件。因此,很可能这些线圈衬有以部分固化的环氧树脂浸渍的材料(已知为 B 阶(B-stage)材料)。B 阶材料具有空气穴 (air pocket),在实践中这些空气穴不能被完全消除。

[0013] 另外,线圈中的绕组上会有尖点。期望加工和巩固线圈而在完工后不留下空气泡或毛刺是不切实际的。

[0014] 然而,在没有 B 阶材料的区域,期望真空浸渍处理能产生无空隙区域是切合实际的。

[0015] 因此,已经认识到,如果有可能构造将 B 阶材料和毛刺限制到低电场强度区域的梯度线圈组件,则应有可能构造具有较高 PDIV 的梯度线圈组件。

发明内容

[0016] 根据本发明的第一方面,提供了一种 MRIS 梯度线圈组件,包括:

[0017] 第一线圈层,其包括第一导电线圈部分;

[0018] 第二线圈层,其包括第二导电线圈部分;

[0019] 第一屏蔽层 (screening layer),其被布置在所述第一线圈层和所述第二线圈层之间,并包括至少一个屏蔽材料片 (sheet),以及

[0020] 至少一个包括绝缘材料的绝缘层,其被设置在所述第一导电线圈部分和所述第一屏蔽层之间,其中

[0021] 所述组件包括至少一个离散的接触工具 (discrete contact means),其将所述第一导电线圈部分电连接到所述屏蔽材料片,并且所述屏蔽材料片被所述至少一个绝缘材料层阻止与所述第一导电线圈部分电接触,除非经由所述至少一个离散的接触工具。

[0022] 在这两个线圈层之间设置一个连接到这两个线圈层之一的屏蔽层(因而所述屏蔽层的电势可以跟随这个线圈层的电势)可以,通过减小所述屏蔽层和相应线圈部分之间区域中的电场,来帮助使该区域中的局部放电最小化。

[0023] 一般而言,所述屏蔽层比简单导体 (simple conductor) 导电性低 -- 例如比线圈部分导电性低 -- 但是比绝缘层导电性高,以执行屏蔽功能而不阻止梯度线圈执行其全部功能。所述屏蔽层对于处在梯度电流波形的典型频率的磁场是透明的。在处理片状的从而本质上 2D 的导体时,采用 2D 电阻率 -- 或方块电阻 (resistance per square) -- 是有用的。方块电阻是(任何尺寸的)一方片材料的对边之间的电阻。对于同质的各向同性的材料,方块电阻等于体电阻率 (bulk resistivity) 对厚度的比值。对于所述屏蔽材料片,合适的最小方块电阻取决于梯度线圈的尺寸和梯度波形的频率。

[0024] 可以表达成:所述屏蔽材料片的电阻率高于线圈部分的电阻率且低于绝缘层的电

阻率。

[0025] 应理解,此处“片的电阻率”指的是该片整体的电阻率,而不是指构成该片的任何一种或多种材料的电阻率。该片中可以具有高导电性(低电阻率)材料,但是仍具有相对较低的总体导电性(较高的总体电阻率)。一个具体实例是高导电性金属网格(mesh)。

[0026] 作为替代,可以表达成:所述屏蔽材料片的方块电阻大于线圈层的平均方块电阻且小于绝缘层的方块电阻。此处线圈层的平均方块电阻表示覆在整个层上的相应线圈部分。注意,在本情况中更重要的是各层的2D或层特性,而不是可以在数据手册中找到的层材料体3D特性。

[0027] 作为替代,可以表达成:所述屏蔽材料片的方块电阻大于由导电线圈部分的材料制成的实心片的方块电阻且小于绝缘层的方块电阻。

[0028] 所述至少一个屏蔽材料片可以是半导电的材料片。

[0029] 注意,在本说明书中,表述“半导电”用于指片材料(sheet material)具有在导体和绝缘体之间的导电性。注意,该术语并不暗示或表明使用了常规的晶体硅或锗基“半导体(semi-conductor)”材料或类似物,而是仅指该片材料的导电特性。表述“半导电”就上述含义广泛地用在高压绝缘领域。

[0030] 常规的晶体半导体材料一般是“半导电”的,不过许多其他材料也是/可以是“半导电”的。在本发明中,常规的晶体半导体基材料因其机械特性而不太可能是最佳选择。

[0031] 所述屏蔽材料片可以包括浸渍石墨的片材料。

[0032] 所述屏蔽材料片可以包括导电材料网格。所述导电材料可以例如是铜、磷青铜(phosphor bronze)或不锈钢。在这样的情况中,所述网格中的线的规格(gauge)以及所述网格中的孔的尺寸可以被选择以给予所述网格整体合适的导电性水平,即,给出半导电的片材料。

[0033] 所述屏蔽材料片优选地被选择为使得其能在比典型梯度线圈驱动电压变化时期短的时期内达到均匀的电势。所述屏蔽材料片优选地被选择为使得其能在比使用中施加到该梯度的电压波形中最大频率的倒数短的时期内达到均匀的电势。

[0034] 所述屏蔽材料片优选地被选择为使得抑制在MRIS中感生具有有害波期(duration)的涡电流(eddy currents)。

[0035] 所述屏蔽材料片可以具有10毫欧每平方到10千欧每平方的方块电阻。

[0036] 所述屏蔽材料片优选地具有30毫欧每平方到10千欧每平方的方块电阻。这一范围的值尤其适合用在整体(whole body)MRIS中的梯度线圈组件。

[0037] 所述线圈组件可以包括在所述第一屏蔽层和所述第二导电线圈部分之间的又至少一个(at least one further)绝缘材料层。

[0038] 可以设置与所述第二线圈层关联的附加屏蔽层。该特征在下文更具体地限定。

[0039] 所述组件可以包括被布置在所述第一屏蔽层和所述第二线圈层之间的第二屏蔽层,所述第二屏蔽层包括至少一个屏蔽材料片,该屏蔽材料片经由至少一个相应的离散的接触工具电连接到所述第二导电线圈部分,并且该屏蔽材料片被至少一个相应的绝缘材料层阻止与所述第二导电线圈部分电接触,除非经由所述至少一个相应的离散的接触工具。

[0040] 在所述第一屏蔽层和所述第二屏蔽层之间、这两个屏蔽层原本会彼此接触之处可以设置有又至少一个绝缘层。在所有或几乎所有情况中,这两个层之间设置有绝缘层。

[0041] 所述组件可以包括第三线圈层,其包括第三导电线圈部分,所述第三线圈层被布置为使得所述第二线圈层被布置在所述第一线圈层和所述第三线圈层之间。

[0042] 在所述第二线圈层和所述第三线圈层之间可以设置有一个或多个相应的屏蔽层。该特征在下文更具体地限定。

[0043] 所述组件可以包括被布置在所述第三线圈层和所述第二线圈层之间的第三屏蔽层,所述第三屏蔽层包括至少一个屏蔽材料片,该屏蔽材料片经由至少一个相应的离散的接触工具电连接到所述第三导电线圈部分,并且该屏蔽材料片被至少一个相应的绝缘材料层阻止与所述第三导电线圈部分电接触,除非经由所述至少一个相应的离散的接触工具。

[0044] 所述组件可以包括被布置在所述第三屏蔽层和所述第二线圈层之间的第四屏蔽层,所述第四屏蔽层包括至少一个屏蔽材料片,该屏蔽材料片经由至少一个相应的离散的接触工具电连接到所述第二导电线圈部分,并且该屏蔽材料片被至少一个相应的绝缘材料层阻止与所述第二导电线圈部分电接触,除非经由所述至少一个相应的离散的接触工具。

[0045] 在所述第三屏蔽层和所述第四屏蔽层之间可以设置有又至少一个绝缘层。

[0046] 所述线圈组件可以被布置为使得所述或每个线圈部分和相应的屏蔽材料片之间存在单个离散的电连接。所述线圈组件可以被布置为使得所述或每个线圈部分和相应的屏蔽材料片之间存在最多三个离散的电连接。使连接的数量最小化帮助防止所述屏蔽层充当与相应线圈电阻并联的阻性分流器 (resistive shunt)。

[0047] 所述或每一至少一个离散的接触工具可以在所述屏蔽层和所述线圈层之间的相应绝缘层中包括开口 (break)。所述相应绝缘层可以包括在一个点具有开口的一层玻璃带,以允许离散的接触。所述或每一至少一个离散的接触工具可以包括导电元件 (conducting element),所述导电元件既连接到所述线圈部分又连接到所述屏蔽材料片。所述导电元件可以在相应绝缘层中的开口位置连接到所述线圈部分。

[0048] 所述绝缘层中的至少一些可以包括 B 阶材料。优选地, B 阶材料被限制到屏蔽层和该屏蔽层连接到的线圈层之间。

[0049] 所述梯度线圈组件可以包括 X 线圈、Y 线圈和 Z 线圈。所述 X 线圈可以包括所述第一线圈部分、所述第二线圈部分和所述第三线圈部分之一。所述 Y 线圈可以包括所述第一线圈部分、所述第二线圈部分和所述第三线圈部分之一。所述 Z 线圈可以包括所述第一线圈部分、所述第二线圈部分和所述第三线圈部分之一。

[0050] 优选地,所述 X 线圈包括所述第一线圈部分、所述第二线圈部分和所述第三线圈部分之中的一个,所述 Y 线圈包括所述第一线圈部分、所述第二线圈部分和所述第三线圈部分之中的另一个,所述 Z 线圈包括所述第一线圈部分、所述第二线圈部分和所述第三线圈部分之中的又一个。

[0051] 所述梯度线圈组件可以包括驱动绕组 (drive windings) (或内部绕组) 和屏障绕组 (shield windings) (或外部绕组)。可以有 X 线圈驱动和屏障绕组、Y 线圈驱动和屏障绕组以及 Z 线圈驱动和屏障绕组。一对驱动和屏障绕组 (例如,一对 = X 线圈驱动和屏障绕组) 内的绕组可以彼此连接,也可以不彼此连接。

[0052] 上述构造可以用在线圈组件中的驱动绕组和 / 或屏障绕组中,即:驱动绕组可以包括所述线圈部分之一,并且 / 或者屏障绕组可以包括所述线圈部分之一。

[0053] 因此,在一个具有 X 驱动和屏障绕组、Y 驱动和屏障绕组以及 Z 驱动和屏障绕组的

实施方案中,存在六个线圈部分,它们在驱动绕组中的相邻线圈部分之间以及在屏障绕组中的相邻线圈部分之间具有关联的屏蔽层和绝缘层。在其他类似实施方案中,仅为驱动绕组设置关联的屏蔽层和绝缘层。在这样情况中,所述梯度线圈组件可以被布置为使在屏障绕组中产生的绝对电压最小化,例如使用 US 7, 145, 337 中描述的技术。

[0054] 根据本发明的另一方面,提供了一种制造上文限定的梯度线圈组件的方法。

[0055] 根据本发明的又一方面,提供了一种包括上文限定的梯度线圈组件的 MRI 仪器。

附图说明

[0056] 现在参考附图仅作为举例来描述本发明的实施方案,在附图中:

[0057] 图 1 示意性地示出了一个 MRI 仪器;

[0058] 图 2 示意性地示出了用在图 1 所示类型的 MRI 仪器中的常规的梯度线圈组件的一部分;以及

[0059] 图 3 示意性地示出了实现本发明的、也适合用在图 1 所示类型的 MRI 仪器中梯度线圈组件的一部分。

具体实施方式

[0060] 图 1 以高度示意性的形式示出了一个一般地常规种类的 MRI 仪器,并且出于清楚的目的而略去了许多细节。图 1 示出的 MRI 仪器 1 包括梯度线圈组件 2,梯度线圈组件 2 在该实施例中包括内部的一组驱动线圈 2A 和外部的一组屏障线圈 (shield coils) 2B。

[0061] 内部的一组驱动线圈 2A 包括构成 X 线圈、Y 线圈和 Z 线圈的绕组,类似地,外部的屏障线圈 2B 包括构成 X 屏障线圈、Y 屏障线圈和 Z 屏障线圈的绕组。

[0062] 图 2 示意性地示出了常规的梯度驱动线圈组件 2A 的一部分,梯度驱动线圈组件 2A 可以用作图 1 所示类型 MRI 仪器的驱动线圈组件,并且可以由类似的梯度屏障线圈组件 2B 补充,以构成图 1 所示布置中的整个梯度线圈组件 2。然而,图 2 仅示出了梯度线圈组件 2 的驱动线圈部分 2A。

[0063] 常规的梯度驱动线圈组件 2A(其一部分在图 2 中示出)包括三个绕组或线圈部分 3X、3Y、3Z,它们当用在 MRI 仪器 1 中时充当 X 驱动线圈、Y 驱动线圈和 Z 驱动线圈。这些线圈部分 3X、3Y、3Z 被设置在不同层中,并且其他层被设置在这些线圈部分 3X、3Y、3Z 自身的导电材料之间。尤其,每个线圈部分 3X、3Y、3Z 具有其自己的关联的 B 阶层 4X、4Y、4Z,它们是形成相应绕组/线圈部分 3X、3Y、3Z 的制造方法的结果。另外,在线圈部分 3X、3Y、3Z 之间设置有附加绝缘层 5。具体地,附加绝缘层 5 被设置在 Z 线圈绕组 3Z 和与 Y 线圈绕组 3Y 关联的 B 阶材料层 4Y 之间,以及在 Y 线圈绕组 3Y 和与 X 线圈绕组 3X 关联的 B 阶材料层 4X 之间。

[0064] 常规的梯度驱动线圈组件 2A(其一部分在图 2 中示出)按下列步骤构建,装配从下向上进行:

[0065] 1. 通过将金属板或绕组金属加工成期望的形状来形成线圈匝 (3X、3Y、3Z)。

[0066] 2. 在线圈部分 (3X、3Y、3Z) 的底表面设置 B 阶材料片。该材料会帮助机械地巩固线圈。通常,线圈部分 (3X、3Y、3Z) 和其 B 阶衬垫 (4X、4Y、4Z) 被置于热压机 (heated press) 中,以固化树脂 B 阶材料。

- [0067] 3. 通过所选择的任何手段使已巩固的线圈形成期望的形状。
- [0068] 4. 将该线圈安装在该梯度线圈组件中。
- [0069] 5. 添加一个或多个绝缘层,以在各层之间保持适当间隔。
- [0070] 6. 按照必要的次数重复步骤 1 到 5,以完成该组件,但是对于最后的线圈层 (3X) 省去步骤 5。

[0071] 注意,当然可以引入更多层。例如,如果要制造既包括驱动线圈又包括屏障线圈的梯度线圈组件,则可以使用类似的技术来添加屏障线圈层。

[0072] 另外,注意,在一些情况中,B 阶材料层 4X、4Y、4Z 可以被替换成其他类型的绝缘材料。例如,线圈部分 3X、3Y、3Z 可以被缠绕在绝缘材料中。应理解,除了提供绝缘,B 阶材料对巩固线圈也是有用的。在一些情况中并不要求这样的巩固,在其他情况中可以使用不同的巩固层。另外,有时,线圈中的一些绕组可以使用 B 阶材料来巩固,而其他绕组不被巩固。

[0073] 使用上述类型的结构,则趋于发生引言中讨论的问题。即,由于 B 阶材料层 4X、4Y、4Z 中空气泡的存在和 / 或线圈部分 3X、3Y、3Z 上毛刺 -- 即锐利的边缘或点 -- 的存在,在使用中很可能发生局部放电。

[0074] 因此,提出梯度线圈组件 2 的替代结构。

[0075] 图 3 示出了梯度驱动线圈组件 2A,该线圈组件 2A 也可以用在常规类型的 MRI 仪器 1 中。虽然图 3 示出了梯度驱动线圈组件 2A,下文描述的结构和技术也可以同样用在梯度屏障线圈组件 2B 或者既包括驱动线圈又包括屏障线圈的梯度线圈组件 2 中。

[0076] 在图 3 示出的新提出的梯度驱动线圈组件 2A 中,也存在对应于 X 驱动线圈、Y 驱动线圈和 Z 驱动线圈的三个线圈部件或绕组 3X、3Y 和 3Z。另外,这些 X 驱动线圈、Y 驱动线圈和 Z 驱动线圈 3X、3Y 和 3Z 之中的每一个都被设置在巩固绝缘复合层 -- 即 B 阶材料层 -- 4X、4Y、4Z 上,此外绝缘层 5 被设置在各个位置。

[0077] 然而,该梯度线圈组件中也设置有相应的屏蔽层 6X、6Y1、6Y2、6Z。每个屏蔽层都包括屏蔽材料片,并经由相应的连接器 7 (在附图中以示意性的形式示出) 连接到线圈部分 3X、3Y、3Z 之中的一个。因此,第一屏蔽层 6X 经由其连接器 7 连接到 X 线圈绕组 3X。第二屏蔽层 6Y1 经由相应的连接器 7 连接到 Y 线圈绕组 3Y。第三屏蔽层 6Z 经由相应的连接器 7 连接到 Z 线圈绕组 3Z,第四屏蔽层 6Y2 经由相应的连接器 7 连接到 Y 线圈绕组 3Y。

[0078] 构成目前提出的类型的梯度线圈组件 2A 的步骤类似于上文描述的构建常规的梯度线圈组件的步骤,并且可以如下:

- [0079] 1. 通过将金属板或绕组金属加工成期望的形状来形成线圈匝 (3X、3Y、3Z)。
- [0080] 2. 在线圈部分 (3X、3Y、3Z) 的底表面设置 B 阶材料片。该材料会帮助机械地巩固线圈。通常,线圈部分 (3X、3Y、3Z) 和其 B 阶衬垫 (4X、4Y、4Z) 被置于热压机中,以固化已加热的树脂 B 阶材料。
- [0081] 3. 通过所选择的任何手段使已巩固的线圈形成期望的形状。
- [0082] 4. 将线圈部分 (3X、3Y 和 3Z) 安装在该梯度线圈组件中,并添加一薄层 (例如) 玻璃带。
- [0083] 5. 在一个点对该带开口,以暴露下面的线圈部分 (3X、3Y 和 3Z)。
- [0084] 6. 在该带上方布置单个屏蔽材料片 (6X、6Y1、6Y2、6Z),并将它在该单个暴露点连接到相应的线圈 (3X、3Y 和 3Z)。

[0085] 7. 添加绝缘层,以在各层之间保持适当间隔。

[0086] 8. 在该绝缘层上布置另一个屏蔽材料片,其被布置为位于待布置的下一个线圈之下。添加一薄层(例如)玻璃带。

[0087] 9. 在一个点对该带开口,以暴露下面的屏蔽层(6X、6Y1、6Y2、6Z)。

[0088] 10. 取得如在步骤1到3中形成的另一个线圈。将它安装到该梯度线圈组件中,并将它在该单个暴露点连接到下面的屏蔽层(6X、6Y1、6Y2、6Z)。

[0089] 11. 添加一薄层(例如)玻璃带。

[0090] 12. 按照必要的次数重复步骤5到11,以完成该线圈。在最后一层之后可以省去步骤11。

[0091] 也应指出,作为替代,线圈匝(3X、3Y和3Z)之中的一个或多个可以简单地通过缠绕绝缘材料中的线圈导体路径来绝缘,而省略B阶材料。

[0092] 在如上述结构和如图3所示的线圈组件中,屏蔽材料层6X、6Y1、6Y2、6Z既被设置在相邻的线圈部分3X、3Y、3Z之间,又为了将B阶材料4X、4Y和绝缘层5适当地夹在相应的屏蔽层6X、6Y1、6Y2、6Z和相应的线圈部分3X、3Y、3Z之间。这可以帮助使该B阶材料中的局部放电以及/或者该线圈组件中的其他绝缘层中的局部放电最小化。

[0093] 申请人认为,从线圈中去除所有毛刺或者获得无气泡复合材料的巩固层(玻璃或聚酯B阶)是不切实际的。具有本技术的发明要通过用一个或多个屏蔽材料片进行屏蔽来减轻气泡和毛刺对梯度线圈层之间的电场的影响。

[0094] 如上文提及的,每个屏蔽材料片6X、6Y1、6Y2、6Z都通过相应的连接器7连接到线圈部分3X、3Y、3Z之中相应的一个。然而,优选地,在屏蔽材料和其相应的线圈部分之间有单个连接。在一些实施中,包括多于单个的接触点可能是必要的或适当的,但如果是这种情况,则保持接触点的数量会被保持为较少,并且接触点会被选择为位于相应点的线圈部分中的电势彼此接近的位置。要避免的情况是:屏蔽层6X、6Y1、6Y2、6Z充当与线圈部分3X、3Y、3Z并联的阻性分流器。然而,可期望的目的是,允许屏蔽层形成等势表面(equipotential surface),其电势与位于连接器和线圈部分之间接触点的相应线圈部分的电势相同。

[0095] 意见是:将梯度线圈组件中的线圈之间的区中的气泡和毛刺--或者至少其中的大多数--限制在线圈部分和相应屏蔽层之间的区域。使用上述布置,这样的区域中的电势差一般而言最多是线圈部分3X、3Y、3Z的特定部分和接触点--所述接触点在线圈部分3X、3Y、3Z和其相应的屏蔽层6X、6Y1、6Y2、6Z之间--之间的电压差。

[0096] 在本实施方案中,每个屏蔽层都包括屏蔽材料部分,其就本申请引言中解释的可以被认为是半导电的--具体地在该实施方案中是单个半导电的材料片。所关注的是如下的片材料:其具有适当的导电特性以及所要求的机械特性,以允许其被形成为该梯度线圈组件的一部分。

[0097] 一方面,所述屏蔽层需要能够充当等势表面,从而能够在比梯度线圈驱动电压改变时期短的时期内改变其整个广度的电势,但是同时,所述屏蔽层必须不支持具有对该MRIS仪器用来进行的MRIS处理有害的波期的涡电流。

[0098] 迄今为止,申请人已经发现,在高电压绝缘领域市售的半导电片材料,诸如浸渍石墨的聚酯玻璃织物(例如Contafel(RTM)2716),是合适的材料。

[0099] 注意,其他合适的屏蔽材料可以由网格或其他结构构成,其中所述网格的物质自身可以是导体,但是该片材料的总体导电特性是可以被描述为半导电的。

[0100] 在上述实施方案的实施中,申请人已经使用了具有 1000 至 4000 欧姆每平方 (Ohms per square) 的方块电阻的片材料。一般而言,对于用在整个体 MRIS 中的梯度线圈组件,申请人目前期待使用具有 1000 至 10000 欧姆每平方的方块电阻的片材料。然而,如上文注意的,目前也考虑到,事实上可以用具有较低的 -- 尤其是在说明书引言中给出的范围中的 -- 的方块电阻的片材料来获得最佳的性能。

[0101] 当然,对于特定的 MRI 仪器或特定类型的 MRI 仪器,可以根据经验确定屏蔽层的优选导电性。

[0102] 注意,屏蔽层 / 屏蔽材料片 6X、6Y1、6Y2、6Z 与相应的线圈部分 3X、3Y、3Z 被绝缘层 (B 阶材料或其他) 分开,并且在屏蔽层和线圈部分之间设置有单个接触点或非常少的接触点。考虑到,如果这没有做到并且导电或半导体材料与线圈部分紧密接触,则很可能在梯度线圈组件中产生不期望的寄生电流 (parasitic currents),而该寄生电流很可能对梯度场品质造成有害影响。因此,例如,考虑到不期望将半导体层直接设置在导电线圈部分上或者对绝缘材料装填 (load) 导电粉末 / 颗粒 -- 这些会导致线圈部分和导电 / 半导体层之间的连续或紧密接触,而这与本技术中的设置一个离散连接或少量离散连接不同。上文提及的不期望的布置中的线圈部分和导电 / 半导体层之间的连续或紧密接触提供了绕过线圈的另外的低电感电流路径,从而损害了磁性能和磁屏障。如果线圈和屏障仅在电势全都相近的几个离散点处连接,则这不会发生。

[0103] 当前描述的用于制造梯度线圈组件的结构和方法允许在线圈组件中获得好的性能,而不试图完全根除线圈部分上的毛刺或绝缘材料中的气泡 -- 该处理过于昂贵并且 / 或者在实际中是不可能的。

[0104] 注意,可以使用高品质真空浸渍处理 -- 而不使用任何 B 阶材料 -- 来引入设置在第一屏蔽层 6X 和第二屏蔽层 6Y1 之间以及设置在第三屏蔽层 6Z 和第四屏蔽层 6Y2 之间的绝缘层 5 (因为这些层不用于在装配期间为线圈部分提供结构整体性),从而可以希望这些区域没有空气泡,再者,这些区域远离任何绕组,因此这些区域中应不会出现毛刺问题。

[0105] 为了完整而提及,图 2 和图 3 的各个部分中包括的影线 (hatching) 和类似阴影的存在与否,仅旨在帮助示出具有共同构成的层,而不旨在区分割面和非剖面部分。

[0106] 注意,在本说明书中,B 阶材料既用于指固化之前的材料又用于指固化之后的材料,即,作为 B 阶材料被引入并随后被固化的材料仍被称作 B 阶材料。

[0107] 应理解,在上文描述的实施方案中设置 X 线圈、Y 线圈和 Z 线圈的具体顺序不是决定性的。当使用本技术时,可以按照任何方便的顺序将 X 线圈、Y 线圈和 Z 线圈设置在组件中。

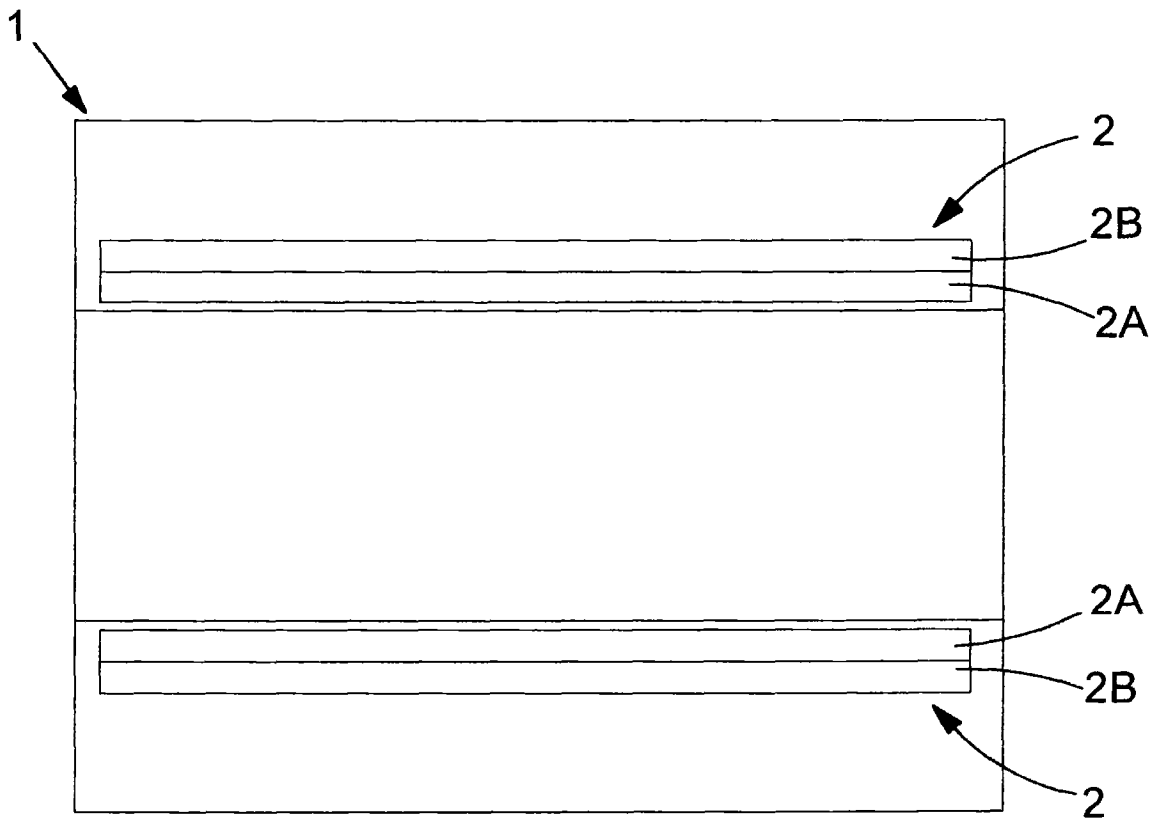


图 1

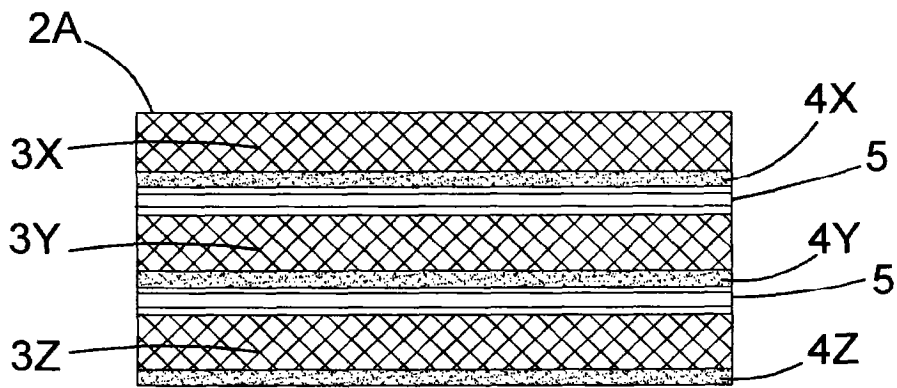


图 2

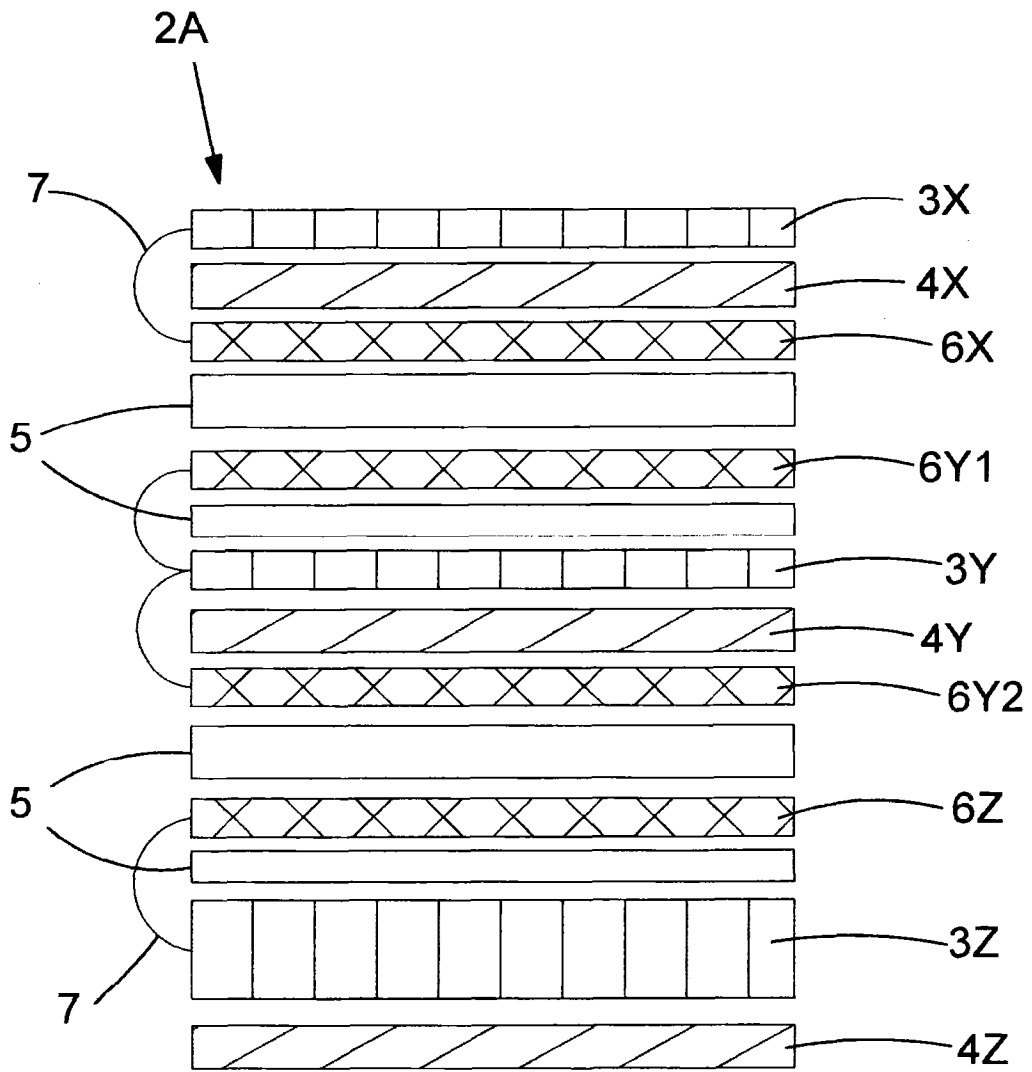


图 3