

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02811623.2

H01Q 9/04 (2006.01)

H01Q 9/16 (2006.01)

H01Q 9/30 (2006.01)

H01Q 13/02 (2006.01)

H01Q 13/06 (2006.01)

H01Q 13/20 (2006.01)

[43] 公开日 2006年6月28日

[11] 公开号 CN 1795584A

[51] Int. Cl. (续)

H01Q 13/22 (2006.01)

[22] 申请日 2002.4.4 [21] 申请号 02811623.2

[30] 优先权

[32] 2001. 4. 11 [33] US [31] 60/283,093

[32] 2001. 7. 13 [33] US [31] 09/904,631

[32] 2001. 7. 24 [33] US [31] 09/912,753

[32] 2001. 8. 8 [33] US [31] 09/927,732

[32] 2001. 8. 10 [33] US [31] 09/927,163

[86] 国际申请 PCT/IB2002/001078 2002.4.4

[87] 国际公布 WO2002/087016 英 2002.10.31

[85] 进入国家阶段日期 2003.12.10

[71] 申请人 基奥赛拉无线公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 斯坦利 S·通西赫 艾伦·特兰

[74] 专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理有限公司

代理人 余 滕 黄建国

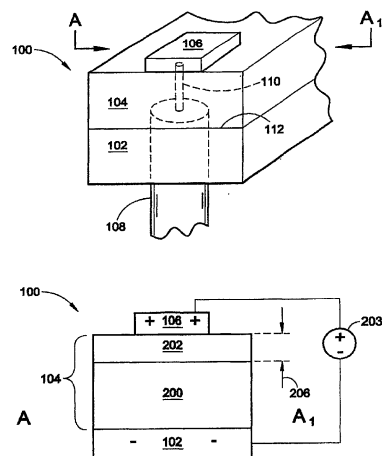
权利要求书 7 页 说明书 29 页 附图 17 页

[54] 发明名称

铁电天线及其调谐方法

[57] 摘要

本发明提供了一系列铁电电介质调谐天线以及对无线通信天线进行频率调谐的方法。该方法包括：形成辐射体(106)；在辐射体附近形成含有铁电材料的电介质(104)；施加电压给铁电材料；根据所施加的电压，产生介电常数；以及根据该介电常数，在谐振频率处进行电磁场传播。该方法的一些实施例还包括：改变所述施加的电压；以及根据所述施加电压的改变而改变所述谐振频率。改变谐振频率包括形成具有可响应施加电压而改变的工作频率的天线。另选地，形成具有可变工作频率的天线包括形成具有预先设定的与谐振频率无关的固定特性阻抗的天线。



1. 一种对单频带无线通信天线进行频率调谐的方法,所述方法包括:
形成单辐射体;
- 5 在所述辐射体附近形成含有铁电材料的电介质;
施加电压给所述铁电材料;
根据所施加的电压,产生介电常数;以及,
根据所述介电常数,在谐振频率处进行电磁场传播。
- 10 2. 根据权利要求1所述的方法,其还包括:
改变所述施加的电压;以及
根据所述施加的电压的改变而改变所述谐振频率。
- 15 3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,改变所述谐振频率包
括形成具有可根据所述施加电压的改变而改变的可变工作频率的天线。
- 20 4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,形成具有可变工作频
率的天线包括形成具有预先设定的与谐振频率无关的固定特性阻抗的天
线。
- 25 5. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,形成具有可变工作频
率的天线包括形成具有预先设定的与谐振频率无关的近似恒定增益的天
线。
- 30 6. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,形成含有铁电材料的
电介质包括:
由具有固定介电常数的第一材料形成含有电介质材料的电介质;及,
形成含有具有可变介电常数的铁电材料的电介质;并且,
其中,根据所述介电常数的改变而改变所述谐振频率包括根据所述
铁电材料的介电常数的改变而改变所述谐振频率。

7. 根据权利要求6所述的方法，其特征在于，形成含有铁电材料的电介质包括形成含有多个具有固定介电常数的电介质材料的电介质。

5 8. 根据权利要求6所述的方法，其特征在于，形成含有铁电材料的电介质包括形成含有多种铁电材料的电介质，每种所述铁电材料都具有可变的介电常数。

10 9. 根据权利要求6所述的方法，其特征在于，形成含有铁电材料的电介质包括在含有铁电材料的电介质附近形成具有固定介电常数的电介质。

10. 根据权利要求6所述的方法，其特征在于，形成含有铁电材料的电介质包括在辐射体附近形成具有固定介电常数的电介质。

15

11. 根据权利要求6所述的方法，其特征在于，形成含有铁电材料的电介质在辐射体附近形成含有铁电材料的电介质。

20 12. 根据权利要求6所述的方法，其特征在于，形成具有固定介电常数的电介质包括从由泡沫材料、空气、FR4、氧化铝（Aluminina）以及TMM构成的组中选择材料以形成电介质。

25 13. 根据权利要求2所述的方法，其特征在于，形成含有铁电材料的电介质包括由钛酸钡锶 $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (BSTO) 形成含有铁电材料的电介质。

14. 根据权利要求2所述的方法，其特征在于，形成含有铁电材料的电介质包括在厚度范围为0.15至2微米的薄膜中形成铁电材料。

30 15. 根据权利要求2所述的方法，其特征在于，形成含有铁电材料的

电介质包括在厚度范围为 1.5 至 1000 微米的厚膜中形成铁电材料。

16. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，在谐振频率处进行电磁场传播包括在从 824 和 894MHz 以及 1850 和 1990MHz 中选出的谐振
5 频率处进行电磁场传播。

17. 根据权利要求 2 所述的方法，其还包括：
形成到辐射体的地网。

10 18. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，施加电压到所述铁电材料包括施加在 0-3.3 伏特范围内的相对直流电压。

19. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，形成含有铁电材料的电介质包括形成介电常数在零伏特处在 100-5000 范围内的铁电电介质
15 层。

20. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，形成含有铁电材料的电介质包括形成复合介电常数在零伏特处在 2-100 范围内的铁电电介质层和具有固定介电常数的电介质层。

20

21. 一种对单频带无线通信天线进行频率调谐的方法，该方法包括：
在含有铁电材料的电介质附近提供单辐射体；
施加电压给所述铁电材料；
根据所施加的电压，改变所述铁电材料的介电常数；以及，
25 响应所述铁电材料的介电常数的改变，改变所述辐射体的谐振频率。

22. 一种具有可选工作频率的单频带天线，所述天线包括：
单辐射体；
含有铁电材料的电介质，其与所述辐射体邻近，具有可变的介电常
30 数；并且，

其中所述辐射体在与所述铁电材料的介电常数相应的频率处产生谐振。

23. 根据权利要求 22 所述的天线，其特征在于，所述辐射体具有预先设定的与谐振频率无关的固定特性阻抗。

24. 根据权利要求 22 所述的天线，其特征在于，所述辐射体具有预先设定的与谐振频率无关的近似恒定的增益。

10 25. 根据权利要求 22 所述的天线，其特征在于所述电介质包括：
由具有固定介电常数的第一材料形成的电介质；及
由具有可变介电常数的铁电材料形成的电介质；并且，
其中所述辐射体的谐振频率响应于所述铁电材料的可变介电常数。

15 26. 根据权利要求 25 所述的天线，其还包括：
用于施加电压给含有所述铁电材料的电介质的装置；且，
其中含有所述铁电材料的电介质的介电常数根据所施加电压的改变而改变。

20 27. 根据权利要求 26 所述的天线，其特征在于，所述含有铁电材料的电介质在零伏特处的介电常数的范围是 100-5000。

25 28. 根据权利要求 26 所述的天线，其特征在于，所述由具有固定介电常数的第一材料形成的电介质和所述由铁电材料形成的电介质在零伏特处的复合介电常数的范围是 2-100。

29. 根据权利要求 22 所述的天线，其还包括：
到辐射体的地网。

30 30. 根据权利要求 22 所述的天线，其特征在于，所述含有铁电材料

的电介质是由钛酸钡锶 $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (BSTO) 形成的。

31. 根据权利要求 22 所述的天线, 其特征在于, 所述含有铁电材料的电介质形成在厚度范围为 0.15-2 微米的薄膜中。

5

32. 根据权利要求 22 所述的天线, 其特征在于, 所述含有铁电材料的电介质形成在厚度范围为 1.5-1000 微米的厚膜中。

33. 一种具有可选工作频率的单频带接线天线, 所述接线天线包括:
地网;

10

覆盖在所述地网上的含有铁电材料的电介质, 所述电介质具有可响应施加到铁电材料上的电压而变化的介电常数; 以及,

覆盖在所述电介质上的至少一个辐射体, 其谐振频率根据所述介电常数的改变而改变。

15

34. 根据权利要求 33 所述的接线天线, 其特征在于, 所述天线具有预先设定的与谐振频率无关的固定特性阻抗。

35. 根据权利要求 33 所述的接线天线, 其特征在于, 所述天线具有
预先设定的与谐振频率无关的近似恒定的增益。

20

36. 根据权利要求 33 所述的接线天线, 其特征在于所述电介质包括:
至少一个由具有固定介电常数的第一材料形成的电介质层; 以及,

由具有可变介电常数的铁电材料形成的电介质, 其与具有固定介电
常数的电介质相邻。

25

37. 根据权利要求 36 所述的接线天线, 其特征在于, 所述由铁电材料形成的电介质覆盖在所述具有固定介电常数的电介质上。

38. 根据权利要求 36 所述的接线天线, 其特征在于, 所述具有固定

30

介电常数的电介质覆盖在所述含有铁电材料的电介质上。

39. 根据权利要求 36 所述的接线天线，其特征在于，所述具有固定介电常数的电介质形成了第一层，其位于所述含有铁电材料的电介质之下；以及第二层，其位于所述含有铁电材料的电介质之上。

40. 根据权利要求 36 所述的接线天线，其特征在于，所述含有铁电材料的电介质形成在所述具有固定介电常数的电介质的内部。

41. 根据权利要求 36 所述的接线天线，其特征在于，所述含有铁电材料的电介质形成在所述具有固定介电常数的电介质的外部。

42. 根据权利要求 33 所述的接线天线，其特征在于，所述铁电材料电介质由钛酸钡锶 $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$ (BSTO) 形成。

43. 根据权利要求 42 所述的接线天线，其特征在于，所述 BSTO 铁电材料包括从含有钨、锰、镁的组中选出的氧化物掺杂剂。

44. 根据权利要求 42 所述的接线天线，其特征在于，所述含有铁电材料的电介质的介电常数两倍响应于 1 伏特以下的偏压改变。

45. 根据权利要求 42 所述的接线天线，其特征在于，所述含有铁电材料的电介质的介电常数在零伏特处的范围是 100-5000。

46. 根据权利要求 36 所述的接线天线，其特征在于，由具有固定介电常数的第一材料形成的电介质和由铁电材料形成的电介质在零伏特处的复合介电常数的范围是 2-100。

47. 根据权利要求 33 所述的接线天线，其特征在于，所述含有铁电材料的电介质形成在厚度范围为 0.15-2 微米的薄膜层中。

-
48. 根据权利要求 33 所述的接线天线，其特征在于，所述含有铁电材料的电介质形成在厚度范围为 1.5-1000 微米的厚膜中。
- 5 49. 根据权利要求 33 所述的接线天线，其特征在于，所述辐射体的有效波长选自由四分之一波长和二分之一波长组成的组。

铁电天线及其调谐方法

5 相关申请

本申请请求享有特此通过参照方式结合到本申请中的 2001 年 4 月 11 日提交的美国临时申请 60/283,093 的优先权权益。另外,本申请还涉及到特此通过参照方式结合到本申请中的下列美国申请: Stanley S. Tonicich 于 2001 年 7 月 13 日提交的名称为“铁电可调谐滤波器 (Ferro-Electric Tunable Filter)”的美国申请 09/904,631; Stanley S. Tonicich 于 2001 年 7 月 24 日提交的名称为“可调谐铁电多路复用器 (Tunable Ferro-Electric Multiplexer)”的美国申请 09/912,753; Stanley S. Tonicich 于 2001 年 8 月 8 日提交的名称为“低通可调谐铁电器件及表征方法 (Low Loss Tunable Ferro-Electric Device and Method of Characterization)”的美国申请 09/927,732; Stanley S. Tonicich 于 2001 年 8 月 10 日提交的名称为“可调谐匹配电路 (Tunable Matching Circuit)”的美国申请 09/927,136; Stanley S. Tonicich 于 2002 年 1 月 11 日提交的名称为“可调谐平面电容器 (Tunable Planar Capacitor)”的美国申请 10/044,522; Stanley S. Tonicich 于 2002 年 2 月 14 日提交的名称为“可调谐绝缘体匹配电路 (Tunable Isolator Matching Circuit)”的美国申请 10/077,654; Stanley S. Tonicich 于 2002 年 2 月 12 日提交的名称为“天线接口单元 (Antenna Interface Unit)”的美国申请 10/076,171; Stanley S. Tonicich 于 2002 年 2 月 12 日提交的名称为“可调谐天线匹配电路 (Tunable Antenna Matching Circuit)”的美国申请 10/075,896; Stanley S. Tonicich 和 Tim Forrester 于 2002 年 2 月 12 日提交的名称为“可调谐低噪声放大器 (Tunable Low Noise Amplifier)”的美国申请 10/075,727; Stanley S. Tonicich 于 2002 年 2 月 12 日提交的名称为“可调谐功率放大器匹配电路 (Tunable Power Amplifier Matching Circuit)”的美国申请 10/075,507。

30 背景技术

1. 发明领域

本发明通常涉及无线通信天线，特别涉及在铁电电介质材料的协助下对天线进行调谐的系统与方法。

5

2. 相关技术说明

许多类型的传统天线设计结构都结合使用了电介质材料。一般而言，由天线产生的场的一部分是由辐射体起穿过电介质而返回到地网（地）的。天线被调谐至谐振频率处，并且辐射体的波长和电介质在谐振频率处具有最佳关系。最常见的电介质是空气，其介电常数是1。其它材料的介电常数都是相对于空气而给出的。

铁电材料具有的介电常数可响应外加电压而变化。由于铁电材料的介电常数是可变的，所以它是制作可调元件的优选材料。但是，在现有使用的测量与表征技术条件下，尽管可以使用处理、掺杂或其它制造技术来改进可调铁电元件的损耗特性，但一向以来实质上人们认为可调铁电元件是有损耗的元件。因此它们没有得到广泛应用。工作在射频或微波区段的铁电可调元件被认为是特别有损耗的。例如，在雷达应用中的实践经验可以证实这一观察发现，其中，例如高的射频（RF）或微波损耗对块状（bulk）（厚度大于约1.0mm）FE（铁电）材料是习惯性的准则，尤其当需要进行最大调谐时。通常，多数铁电材料是有损耗的，除非采取一些处理步骤来改善它们的损耗特性（减小损耗）。这些处理步骤包括但不限于：（1）在沉积处理之前进行退火处理和沉积处理之后进行退火处理或者在之前之后都进行退火处理，以便弥补O₂的空缺，（2）使用过渡层以减小表面应力，（3）搀混或缓冲以其它材料以及（4）进行选择

25

性掺杂。

近年来，在有限范围内对低功率元件进行调谐这样一种需要逐渐增大，人们的兴趣已经转向使用薄膜铁电材料而不再是块状铁电材料。但是，薄膜铁电材料的工作仍就面临着高铁电损耗的假定前提。传统的宽带测量技术支持了该假定前提，即，无论其是块状的还是薄膜形式的，可调谐铁电元件实质上都具有损耗。例如，在无线通信中，在约2GHz

30

的频率处需要 Q 大于 80, 优选地大于 180, 且更优选地大于 350。相同的这些设定要求也牵涉到了天线的设计。

可调铁电元件, 尤其是那些采用薄膜形式的元件, 可以应用在许多种频率捷变电路中。因为可调谐元件具有元件尺寸与高度较小、插入损耗低或在相同插入损耗的情形下抑止特性较好、费用较低、以及能够在
5 一个以上频带范围进行调谐等特性, 所以它们是人们所期望的。可调谐元件能够覆盖多个频带的能力使得减少所需元件的数目成为可能, 例如使用多路复用固定频率元件作为在离散的频带之间选频所需的开关元件。这些优点在无线手机设计方面尤为重要, 因为在无线手机设计中既
10 需要增强功能又需要降低造价和尺寸, 而从表面上看起来两者是相互矛盾的需求。例如, 在码分多址 (CDMA) 手机中, 独立元件的性能被高度强调。

已知铁电材料可以用于制造频率调谐天线。但是, 使用 FE 电介质材料并不总是有效的, 尤其在当铁电材料不是位于最大电磁场密度区域之
15 中的情况下。对于传统的接线天线 (patch antenna), 最大电磁场区域位于辐射体与地网 (地) 之间。因为 FE 电介质配置效率低下, 所以介电常数的改变对天线谐振频率的改变影响很小。为了有效地改变谐振频率, 这些传统的 FE 电介质天线不得不依赖多个辐射体。

如果在使用过程中天线的谐振频率是可选的, 则会带来很多益处。

20 如果可以利用铁电材料来控制天线的谐振频率, 则会带来很多益处。

如果使铁电材料天线的谐振频率能够响应加载给铁电材料的电压而改变, 则会带来很多益处。

如果能够将铁电材料天线用于有效地改变带有单辐射体的传统设计天线的谐振频率, 则会带来很多益处。

25

发明简介

本发明阐述说明的是用铁电材料作为电介质而制造出的天线。铁电材料的介电常数可通过外加电压得到控制。因为在介电常数和谐振频率之间存在着固定的关系, 所以可以利用外加电压来控制天线的谐振频率。

30 因此, 本发明提供了一种用于对单频带无线通信天线进行频率调谐

的方法。该方法包括：形成辐射体；在所述辐射体附近形成含有铁电材料的电介质；对所述铁电材料施加电压；响应所述施加的电压以产生一个介电常数；以及响应所述介电常数在谐振频率处传播电磁场。该方法的一些方面进一步包括：改变所述施加的电压；以及响应所述施加电压的变化而改变所述谐振频率。

改变所述谐振频率包括形成具有可响应施加的电压而改变的工作频率的天线。换言之，形成具有可变工作频率的天线包括形成具有预定的与谐振频率无关的固定特性阻抗的天线。

在形成辐射体的方法的某些方面中包括形成单辐射体。

在形成含有铁电材料的电介质的方法的某些方面中包括：由具有固定介电常数的第一材料形成含有电介质材料的电介质；以及形成含有具有可变介电常数的铁电材料的电介质。进而，改变谐振频率包括响应对铁电材料介电常数的改变而改变谐振频率。

在其它方面中，形成含有铁电材料的电介质包括形成含有多种电介质材料的电介质，所述每种电介质材料都由具有固定介电常数的电介质材料得到。可另选地或者附加地，形成含有铁电材料的电介质包括形成含有多种铁电材料的电介质，所述每种铁电材料都具有可变的介电常数。

以下将说明上述方法的其它详细内容以及一系列由铁电材料电介质构成的天线。

20

附图的简要说明

图 1a 至 1c 是本发明所述具有可选工作频率的接线天线的视图。

图 2 是图 1a 所示接线天线的另一种形式的剖面图。

图 3 是图 1a 所示接线天线的另一种形式的剖面图，其中接线天线具有多个固定介电常数层。

图 4 是图 1a 所示接线天线的另一种形式的剖面图，其中接线天线具有一个铁电材料的内层。

图 5a 至 9e 示出了一系列本发明所述的缝隙天线。

图 10a 至 10d 示出了本发明所述的末端开口的波导天线。

图 11a 至 11e 是本发明所述具有可选工作频率的喇叭天线的视图。

30

图 12a 至 12f 描绘的是本发明所述具有可选工作频率的单极天线。

图 13a 至 13f 描绘的是本发明所述具有可选工作频率的双极天线。

图 14 是说明用于对单频带无线通信天线进行频率调谐的本发明方法的流程图。

5 图 15 是说明图 14 所述方法的另一替换方式的流程图。

优选实施例的详细说明

本发明说明了一系列具有可选工作频率的天线。通常，各个天线都包括辐射体以及位于该辐射体附近的、含有介电常数可变的铁电材料的电介质。辐射体在相应于铁电材料的介电常数的频率处产生谐振。某些
10 天线包括与地网连接的辐射体。另外一些天线设计包括任意指定的地网和辐射体。还有一些天线设计所包含的地网和辐射体彼此无法清楚区分。

根据本发明的一个方面，下文描述的这一系列天线都包含有铁电电介质层，用以对单辐射体天线的谐振频率进行调谐，这一点与现有技术的天线不同，现有技术天线依靠多个辐射体以实现任意的带宽或谐振频率的明显改变。这里所述的本发明的单辐射体天线是单频带的，它们各自都具有一个相应于该单辐射体的谐振基频（不考虑基频波的谐波）。根据本发明的系列天线的另一个方面，铁电介质位于辐射体与地网（或虚拟地网）之间电磁场最密的区域。因此，铁电材料介电常数的变化将会
15 导致天线的谐振频率产生显著变化。

图 1a 至 1c 是本发明所述具有可选工作频率的接线天线的视图。图 1a 是可具有半波长辐射体尺寸的单频带接线天线的立体图。接线天线 100 包括地网 102 和覆盖在地网上的含有铁电材料的电介质 104。该电介质的介电常数可根据施加到铁电材料上的电压的变化而改变。至少一个辐射
25 体 106 覆盖了其谐振频率与介电常数对应的电介质 104。在接线天线 100 的一些实施例中，电介质 104 是整个由铁电材料构成的层。接线天线的原理与设计是本领域普通技术人员所公知的，为简明起见这里不再赘述。尽管使用铁电材料可为接线天线提供一个更广的可选工作频率范围，但是设计的通用原理并不因本发明使用铁电材料而发生改变。同轴馈线 108
30 具有与辐射体 106 连接的中心导体 110 以及与地网 102 相接的地。

图 1b 是图 1a 所示接线天线 100 的平面图。含有铁电材料的电介质通常只被设置于辐射体 106 的附近。区域 112 可以是具有固定常数的电介质。在未示出的其它可选实施例中，可均匀地环绕辐射体 106 周侧设置铁电电介质 104，或者可以绕着辐射体 106 对称地设置形成电介质区域 104 和 112。

图 1c 是倒 F 形平面天线的剖视图，倒 F 形平面天线可适用于四分之一波长的辐射体尺寸。所示的铁电电介质 104 位于单辐射体 106 和地网 102 之间，但是，其它的铁电电介质图案与分布也是可行的。

天线 100 具有预定的、与谐振频率无关的固定特性阻抗。也就是说，不管所选的工作频率为多大，输入阻抗例如总是保持为 50 欧姆。另外，也可以这样讲，天线 100 具有一个预定的近似为常量的、与谐振频率无关的增益。

图 2 是图 1a 所示接线天线的另一实施例的剖面图。如图 2 所示，电介质 104 包括：至少一个电介质层 200，其由具有固定介电常数的第一材料构成；以及电介质 202，其由具有可变介电常数的铁电材料构成，并且与具有固定介电常数的电介质 200 相邻。如图所示，含有铁电材料的电介质 202 覆盖在具有固定介电常数的电介质 200 上。电压通常被加载到铁电电介质层 202 附近的导体上以产生所期望的介电常数。电压发生器 203 可提供由“+”、“-”符号表示的电压。在某些实施例中，在层 202 和导电辐射体 106 之间可插入电绝缘体（未示出）以便将偏压和交流信号电压隔离开。但是，通常需要用一片导体将偏压均匀地分布施加到铁电电介质 202 上，而这将对天线调谐造成干扰。因此，通常地在辐射体所传送的交流信号上叠加直流电压，并且为地网 102 提供参考地。另外可选的但没有示出的是，具有固定介电常数的电介质 200 覆盖在含有铁电材料的电介质 202 上。然后，可以在铁电电介质层 202 和导电地网之间插入绝缘体，并且提供电位不同于地网的参考地。但是如图所示，铁电电介质层通常被供给地网的参考地偏压设置。注意，在天线的一些实施例中，偏压的极性与图示的极性相反。

图 3 是图 1a 所示接线天线的另一实施例的剖面图，该实施例含有多个固定介电常数层。含有固定电介质的介电层形成了第一层 200a，其位

于具有固定的介电常数的电介质 202 的下面；以及第二层 200b，其覆盖在含有铁电材料的电介质 202 的上面。这两个固定的电介质层不必具有相同的介电常数。另外，也可以使用三层或更多层的固定的电介质层。没有图示的另一种可选方式是，可以在固定的电介质层周围形成多个铁电层，或者可以使用多层的固定的电介质和铁电层。多个铁电电介质层可以具有不同的厚度，由不同的铁电材料制成，或者可以相应于相同的电压而具有不同的介电常数。

图 4 是说明图 1a 所示接线天线另一个实施例的剖面图，该实施例包含有铁电材料制成的内层。如图所示，含有铁电材料的电介质 202 形成在具有固定介电常数的电介质 200 的内部。没有图示的另一种可选方式是，具有固定介电常数的电介质 200 形成在铁电电介质 202 的内部。另外，也可以使用多个内部铁电电介质区域。

在一些实施例中，含有铁电材料的电介质 202 是由钛酸钡锶 $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (BSTO) 制造而成的。但是，也可以选用所起作用相同的许多其它公知的铁电材料。例如返过来参看图 2，含有铁电材料的电介质 202 可以被形成在具有一定厚度的薄膜层 206 中，薄膜层 206 的厚度范围为 0.15 至 2 微米。另外，含有铁电材料的电介质 202 也可被形成在具有一定厚度的厚膜层 206 中，厚膜层 206 的厚度范围为 1.5-1000 微米。在一些实施例中，含有铁电材料的电介质所具有的介电常数在零伏特处的范围在 100-5000 之间。在另一些实施例中，由具有固定介电常数的第一材料形成的电介质 200 和由铁电材料形成的电介质 202 所具有的复合介电常数在零伏特处的范围在 2 至 100 之间。

通过掺杂并控制居里温度 (T_c) 可以操控铁电材料的介电常数。一些常用的掺杂材料是钨 (W)、锰 (Mn) 和镁 (Mg)，它们被作为氧化物掺入。但是，也可以使用位于元素周期表中同一列的其它同族元素。铁电材料在 T_c 下其介电常数达到最大值，随着温度沿正负两个方向的变化其介电常数迅速下降。但是，通常高于 T_c 的一侧温度变化所引致的介电常数的改变幅度较小。因此，作为电介质材料人们通常选择其 T_c 小于工作温度的铁电材料。

利用介电常数为 1 (空气) 的材料构成的天线的损耗小于利用较高介

电常数材料构成的天线的损耗。但是，人们经常使用较高的介电常数材料以便减小天线的尺寸大小（有效波长）。通常，天线的设计者寻求介电常数小于 100 的电介质材料。通过加入掺杂剂可以减小铁电材料的介电常数，但其代价是减小了介电常数的变化性（即在每伏特偏压作用下的介电常数的变化量变小了）。在 Tc 和掺杂之间寻求适当折中，从而可以相应于不足一伏特的偏压变化而在铁电材料电介质中实现大于 2:1 的变化。

图 5a 至 9e 说明了一系列本发明所述的缝隙天线。通常，各个单频段缝隙天线都包含地网和覆盖在地网上的含有铁电材料的电介质。但是，一些缝隙天线可以理解为仅具有辐射体，或具有虚拟辐射体和虚拟地网。形成在地网或辐射体中的缝隙，其电长度相应于介电常数，并且电介质具有可相应于施加到铁电材料上的电压而变化的介电常数。辐射体覆盖并靠近电介质。

通常这样，每个缝隙设计中的辐射体都具有预先设定的与谐振频率无关的固定特性阻抗。即，缝隙的电长度相对于谐振频率为常量。另外，辐射体具有预先设定的与谐振频率无关的近似常量的增益。另外通常这样，缝隙（或多个缝隙）的电长度响应介电常数（或多个介电常数）而改变，以改变为电介质谐振频率的约二分之一波长或者电介质谐振频率的约四分之一波长。缝隙天线的原理与设计是本领域普通技术人员所公知的，因此为简明起见这里不再赘述。尽管使用铁电材料会给缝隙天线带来更广范围的可选工作频率，但是设计的通用原理并不因本发明使用铁电材料而有所不同。

图 5a 是本发明微带缝隙天线 500 的立体图。地网 502、辐射体 504 与含有铁电材料的电介质 506 构成了所述微带。含有铁电材料的电介质 506 通常位于缝隙附近，如图所示。远离缝隙处可以使用具有固定的介电常数的不同电介质 507。缝隙 508 形成在地网 502 中。如图所示，缝隙 508 相对于辐射体 504 横向设置，但不是必须如此设置。在微带天线 500 的其它实施例中使用了多个缝隙（未示出）。

图 5b 是说明图 5a 所示微带缝隙天线的另一实施例的剖面图。如图所示，电介质 506 包括：至少一个电介质层 510，其由具有固定介电常数

的第一材料制成；以及电介质 512，其由具有可变介电常数的铁电材料制成，并且与具有固定介电常数的电介质层 510 相邻。如图所示，含有铁电材料的电介质 512 覆盖在具有固定介电常数的电介质 510 上。电压通常被施加到铁电电介质层 512 附近的导体上以便产生所期望的介电常数。

5 可以提供以“+”、“-”符号表示的电压。在一些实施例中，可以在层 512 和导电辐射体 504 之间插入电绝缘体（未示出），以将偏压与交流信号电压分隔开。但是，通常需要通过一片导体将偏压均匀分布到铁电电介质 512 上，而这将对天线调谐产生干扰。因此，通常在辐射体传送的交流信号上叠加以直流电压，并且为地网 502 提供参考地。没有图示的另一种

10 可选方式是，具有固定介电常数的电介质 510 覆盖在含有铁电材料的电介质 512 上。此外，可以在铁电电介质层 512 和导电地网之间插入绝缘体，并且提供电位与地网不同的参考地。但是如图所示，铁电电介质层通常被偏置有提供给地网的参考地。注意，在天线的一些实施例中，偏压的极性与图示的极性相反。

15 图 5c 是说明图 5a 所示微带缝隙天线的另一实施例的剖面图，该实施例具有多个固定介电常数层。具有固定电介质的电介质层形成了第一层 510a，其位于具有固定介电常数的电介质 512 之下；以及第二层 510b，其位于含有铁电材料的电介质 512 之上。这两个固定的电介质层不必一定要具有相同的介电常数或厚度。而且，可以使用三层或更多层的固定的电介质层。没有图示的另一种可选方式是，可以在固定的电介质层周

20 围形成多个铁电层，或者可以使用多层固定的电介质层和铁电层。多个铁电电介质层可以具有不同的厚度，由不同的铁电材料制成，或者可以相对于相同的电压而具有不同的介电常数。

图 5d 是说明图 5a 所示微带缝隙天线的另一实施例的剖面图，该实

25 施例具有铁电材料的内层。如图所示，含有铁电材料的电介质 512 形成在具有固定介电常数的电介质 510 的内部。在一些实施例中，可以形成多个铁电内部区域。没有图示的另一种可选方式是，具有固定介电常数的电介质 510 被形成在铁电电介质 512 的内部。而且，可以使用附加的电绝缘体用以将地网 502 和辐射体 504 与铁电层 512 隔离开。

30 在一些实施例中，含有铁电材料的电介质 512 是由钛酸钡锶

$Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (即 BSTO) 制造而成的。但是, 也可以选用所起作用相同的其它许多公知的铁电材料。例如返过来参看图 5b, 含有铁电材料的电介质 512 可以被形成在具有一定厚度的薄膜层 514 中, 薄膜层的厚度范围为 0.15-2 微米。可另选地, 含有铁电材料的电介质 512 被形成在厚度范围为 1.5-1000 微米的厚膜层 514 中。在一些实施例中, 含有铁电材料的电介质具有的介电常数在零伏特处的范围在 100-5000 之间。在另一些实施例中, 由具有固定介电常数的第一材料形成的电介质和由铁电材料形成的电介质具有的复合介电常数在零伏特处的范围在 2-100 之间。

通过掺杂并控制居里温度 (T_c) 可以操控铁电材料的介电常数。一些常用的掺杂材料是以氧化物形式引入的钨 (W)、锰 (Mn) 和镁 (Mg)。但是, 也可以使用位于元素周期表中同一列的其它同族元素。铁电材料在 T_c 下其介电常数达到最大值, 随着温度沿正负两个方向的变化其介电常数迅速下降。但是, 典型地高于 T_c 的一侧温度变化引致的介电常数的改变幅度较小。因此, 作为电介质材料人们通常选择 T_c 小于工作温度的铁电材料。

利用介电常数为 1 (空气) 的材料形成的天线的损耗小于利用较高介电常数材料形成的天线的损耗。但是, 人们经常使用较高的介电常数材料以便减小天线的尺寸大小 (有效波长)。通常, 天线的设计者寻找介电常数小于 100 的电介质材料。通过加入掺杂剂可以减小铁电材料的介电常数, 其代价是减小了介电常数的变化性 (即在每伏特作用下的介电常数的变化量变小了)。在 T_c 和掺杂之间寻求适当折中, 从而可以相应于不足一伏特的偏压变化而在铁电材料电介质中实现大于 2: 1 的变化。

图 6a 是本发明所述同轴缝隙天线 600 的立体图。地网 602、辐射体 604 和含有铁电材料的电介质 606 构成了一条同轴线, 在地网 602 上设置有缝隙 608。铁电电介质 606 位于缝隙附近。在远离缝隙处可以使用具有固定介电常数的不同电介质 607。如图所示, 缝隙 608 相对于辐射体 604 横向设置, 但不是必须如此设置。在同轴缝隙天线 600 的其它实施例中使用了多个缝隙 (未示出)。

图 6b 是说明图 6a 所示同轴缝隙天线的另一实施例的剖面图。如图所示, 电介质 606 包括: 至少一个电介质层 610, 其由具有固定介电常数

的第一材料制成；以及电介质 612，其由具有可变介电常数的铁电材料制成，并且与具有固定介电常数的电介质层 610 相邻。如图所示，含有铁电材料的电介质 612 覆盖在具有固定介电常数的电介质 610 上。

典型地，电压被施加到铁电电介质层 612 附近的导体上以便产生所期望的介电常数。可以提供以“+”、“-”符号表示的电压。在一些实施例中，可以在层 612 和导电辐射体 604 之间插入电绝缘体（未示出），以将偏压和交流信号电压分隔开。但是，通常需要通过一片导体将偏压均匀分布到铁电电介质 612 上，而这将对天线调谐产生干扰。因此，通常在辐射体传送的交流信号上叠加以直流电压，并且为地网 602 提供参考地。

5 没有图示的另一种可选方式是，具有固定介电常数的电介质 610 覆盖在含有铁电材料的电介质 612 上。此外，可以在铁电电介质层 612 与导电地网之间插入绝缘体，并且提供电位与地网不同的参考地。但是如图所示，铁电电介质层典型地被偏置以提供给地网的参考地。注意，在天线的一些实施例中，偏压的极性与图示的极性相反。

15 图 6c 是说明图 6a 所示同轴缝隙天线的另一实施例的剖面图，该实施例具有多个固定介电常数层。含有固定电介质的电介质层形成了第一层 610a，其设置位于具有固定介电常数的电介质 612 之下；以及第二层 610b，其设置位于铁电材料 612 之上。这两个固定的电介质层不必一定要具有相同的介电常数或厚度。另外，也可以使用三层或多层固定的电介质层。

20 没有图示的另一种可选方式是，可以在固定的电介质层周围形成多个铁电层，或者可以使用多层的固定电介质和铁电层。多个铁电电介质层可以具有不同的厚度，由不同的铁电材料制成，或者可以相应于相同电压而具有不同的介电常数。

25 图 6d 是说明图 6a 所示同轴缝隙天线的另一实施例的剖面图，该实施例具有铁电材料的内层。如图所示，含有铁电材料的电介质 612 形成在具有固定介电常数的电介质 610 的内部。注意，尽管图示显示的是一个，但可以设置形成多个内部区域。没有图示的另一种可选方式是，具有固定介电常数的电介质 610 被形成在铁电电介质 612 的内部。而且，可以使用附加的电绝缘体以将地网 602 和辐射体 604 与铁电层 612 隔离

30 开。

5 在一些实施例中，含有铁电材料的电介质 612 是由钛酸钡锶 $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (即 BSTO) 制造而成的。但是，也可以选用所起作用相同的其它许多公知的铁电材料。例如返过来参看图 6b，含有铁电材料的电介质 612 可以被形成在具有一定厚度的薄膜层 614 中，薄膜层的厚度范围

10 范围为 0.15-2 微米。可另选地，含有铁电材料的电介质 612 被形成在厚度范围为 1.5-1000 微米的厚膜层 614 中。在一些实施例中，含有铁电材料的电介质具有的介电常数在零伏特处的范围在 100-5000 之间。在另一些实施例中，由具有固定介电常数的第一材料形成的电介质和由铁电材料形成的电介质具有的复合介电常数在零伏特处的范围在 2-100 之间。

15 通过掺杂并控制居里温度 (T_c) 可以操控铁电材料的介电常数。一些常用的掺杂材料是以氧化物形式引入的钨 (W)、锰 (Mn) 和镁 (Mg)。但是，也可以使用位于元素周期表中同一列的其它同族元素。铁电材料在 T_c 下其介电常数达到最大值，随着温度沿正负两个方向的变化其介电常数迅速下降。但是，典型地高于 T_c 的一侧温度变化引致的介电常数的

20 改变幅度较小。因此，作为电介质材料人们通常选择 T_c 小于工作温度的铁电材料。

利用介电常数为 1 (空气) 的材料形成的天线的损耗小于利用较高介电常数材料形成的天线的损耗。但是，人们经常使用较高的介电常数材料以便减小天线的尺寸大小 (有效波长)。通常，天线的设计者寻找介电

25 常数小于 100 的电介质材料。通过加入掺杂剂可以减小铁电材料的介电常数，其代价是减小了介电常数的变化性 (即在每伏特作用下的介电常数的变化量变小了)。在 T_c 和掺杂之间寻求适当折中，从而可以相应于不足一伏特的偏压变化而在铁电材料电介质中实现大于 2: 1 的变化。

图 7a-7f 是表示本发明所述圆形波导缝隙天线的视图。众所周知，在

30 图 7a 中地网和辐射体是无法清楚区分的，因此，我们说圆形波导天线包括辐射体 704 和电介质 706。如图所示，缝隙 708 相对于辐射体 704 横向设置，但不是必须如此设置。铁电电介质 706 设置位于缝隙 708 附近。另外，可以在远离缝隙 708 处使用具有固定介电常数的材料 707。在圆形波导缝隙天线 700 的其它实施例中使用了多个缝隙 (未示出)。

图 7b 是说明图 7a 所示圆形波导缝隙天线的另一实施例的剖面图。

如图所示,电介质 706 包括:至少一个电介质层 710,其由具有固定介电常数的第一材料制成;以及电介质 712,其由具有可变介电常数的铁电材料制成,并且与具有固定介电常数的电介质层 710 相邻。如图所示,含有铁电材料的电介质 712 覆盖在具有固定介电常数的电介质 710 上。通常电压被施加到铁电电介质层 712 附近的导体上以产生所期望的介电常数。可以提供以“+”、“-”符号表示的电压。在一些实施例中,可以在层 712 于导电辐射体 704 之间设置电绝缘体(未示出),以便将偏压和交流信号电压分隔开。但是,通常需要通过一片导体将偏压均匀分布到铁电电介质 712 上,而这将对天线调谐产生干扰。因此,可以在辐射体 704 上形成缝隙 709 以分隔这两个偏压的极性。通常在辐射体传送的交流信号上叠加以直流电压。没有图示的另一种可选方式是,具有固定介电常数的电介质 710 覆盖在含有铁电材料的电介质 712 上。注意,在天线的一些实施例中,偏压的极性与图示的极性相反。

图 7c 是说明图 7a 所示圆形波导缝隙天线的另一实施例的剖面图,该实施例具有多个固定的介电常数层。具有固定电介质的电介质层形成了第一层 710a,其位于具有固定介电常数的电介质 712 之下;以及第二层 710b,其设置在含有铁电材料的电介质 712 之上。这两个固定的电介质层不必一定要具有相同的介电常数或厚度。另外,也可以使用三层或多层固定的电介质层。没有图示的另一种可选方式是,可以在固定的电介质层周围形成多个铁电层,或者可以使用多层的固定电介质和铁电层。多个铁电电介质层可以具有不同的厚度,由不同的铁电材料制成,或者可以相应于相同的电压而具有不同的介电常数。

图 7d 是说明图 7a 所示圆形波导缝隙天线的另一实施例的剖面图,该实施例具有铁电材料的内层。如图所示,含有铁电材料的电介质 712 形成在具有固定介电常数的电介质 710 的内部。注意,尽管图示显示的是一个,但可以设置形成多个内部区域。没有图示的另一种可选方式是,具有固定介电常数的电介质 710 形成在铁电电介质 712 的内部。还应当注意,虽然内部区域在图中显示为矩形,但是其它的形状也是等同可行的,如圆环形、圆柱形、椭圆形等。

图 7e 和 7f 是圆形波导缝隙天线 700 的另外的实施例。狭缝不是必需

的，因为辐射体 704 不需要承受偏压。相反，偏压是由面板 714 和 716 提供的。偏压面板 714/716 可以以各种位置形式设置在铁电电介质任意一侧。一个面板甚至可以设置位于缝隙中。

在一些实施例中，含有铁电材料的电介质 712 是由钛酸钡锶 $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (即 BSTO) 形成的。但是，也可以选用所起作用相同的其它许多公知的铁电材料。例如返过来参看图 7b，含有铁电材料的电介质 712 可以被形成在具有一定厚度的薄膜层 714 中，薄膜层的厚度范围为 0.15-2 微米。可另选地，含有铁电材料的电介质 712 被形成在厚度范围为 1.5-1000 微米的厚膜层 714 中。在一些实施例中，含有铁电材料的电介质 10 具有的介电常数在零伏特处的范围在 100-5000 之间。在另一些实施例中，由具有固定介电常数的第一材料形成的电介质和由铁电材料形成的电介质具有的复合介电常数在零伏特处的范围在 2-100 之间。

通过掺杂并控制居里温度 (T_c) 可以操控铁电材料的介电常数。一些常用的掺杂材料是以氧化物形式引入的钨 (W)、锰 (Mn) 和镁 (Mg)。15 但是，也可以使用位于元素周期表中同一列的其它同族元素。铁电材料在 T_c 下其介电常数达到最大值，随着温度沿正负两个方向的变化其介电常数迅速下降。但是，典型地高于 T_c 的一侧温度变化引致的介电常数的改变幅度较小。因此，作为电介质材料人们通常选择 T_c 小于工作温度的铁电材料。

20 利用介电常数为 1 (空气) 的材料形成的天线的损耗小于利用较高介电常数材料形成的天线的损耗。但是，人们经常使用较高的介电常数材料以便减小天线的尺寸大小 (有效波长)。通常，天线的设计者寻找介电常数小于 100 的电介质材料。通过加入掺杂剂可以减小铁电材料的介电常数，其代价是减小了介电常数的变化性 (即在每伏特作用下的介电常数的变化量变小了)。在 T_c 和掺杂之间寻求适当折中，从而可以相应于 25 不足一伏特的偏压变化而在铁电材料电介质中实现大于 2: 1 的变化。

图 8a 是本发明所述矩形波导缝隙天线 800 的立体图。图中所示的矩形波导天线包括辐射体 804 与电介质 806。但是，辐射体和地网是任意指定的。如图所示，缝隙 808 相对于辐射体 804 横向设置，但不是必须如此设置。铁电电介质 806 设置位于缝隙 808 附近。可以在远离缝隙 808 30

处使用具有固定介电常数的材料 807。在矩形波导缝隙天线 800 的其它实施例中使用了多个缝隙（未示出）。

图 8b 是说明图 8a 所示矩形波导缝隙天线的另一实施例的剖面图。如图所示，电介质 806 包括：至少一个电介质层 810，其由具有固定介电常数的第一材料制成；以及电介质 812，其由具有可变介电常数的铁电材料制成，并且与具有固定介电常数的电介质层 810 相邻。如图所示，含有铁电材料的电介质 812 覆盖在具有固定介电常数的电介质 810 上。通常电压被施加到铁电电介质层 812 附近的导体上以便产生所期望的介电常数。可以提供以“+”、“-”符号表示的电压。在一些实施例中，可以在层 812 与导电辐射体 804 之间插入电绝缘体（未示出），以将偏压和交流信号电压分隔开。但是，通常需要通过一片导体将偏压均匀分布到铁电电介质 812 上，而这将对天线调谐产生干扰。因此，可以在辐射体 804 中形成（起电隔离作用的）狭缝 809 以分隔这两个偏压的极性。通常在辐射体传送的交流信号上叠加以直流电压。没有图示的另一种可选方式是，具有固定介电常数的电介质 810 覆盖在含有铁电材料的电介质 812 上。注意，在天线的一些实施例中，偏压的极性与图示的极性相反。

图 8c 是说明图 8a 所示矩形波导缝隙天线的另一实施例的剖面图，该实施例具有多个固定的介电常数层。具有固定电介质的电介质层形成了第一层 810a，其位于具有固定介电常数的电介质 812 之下；以及第二层 810b，其设置在含有铁电材料的电介质 812 之上。这两个固定的电介质层不必一定要具有相同的介电常数或厚度。另外，也可以使用三层或多层固定的电介质层。没有图示的另一种可选方式是，可以在固定的电介质层周围形成多个铁电层，或者可以使用多层的固定电介质和铁电层。多个铁电电介质层可以具有不同的厚度，由不同的铁电材料制成，或者可以相应于相同的电压而具有不同的介电常数。

图 8d 是说明图 8a 所示矩形波导缝隙天线的另一实施例的剖面图，该实施例具有铁电材料的内层。如图所示，含有铁电材料的电介质 812 形成在具有固定介电常数的电介质 810 的内部。注意，尽管图示显示的是一个，但可以设置形成多个内部区域。没有图示的另一种可选方式是，具有固定介电常数的电介质 810 形成在铁电电介质 812 的内部。还应当

注意，虽然内部区域在图中显示为矩形，但是其它的形状也是等同可行的，如圆环形、圆柱形、椭圆形等。在没有图示说明的其他变型实施例中，与图 7e 和 7f 相等地，直流偏压是由辐射体 804 内部的面板提供的，因此不需要形成缝隙 809。

5 在一些实施例中，含有铁电材料的电介质 812 是由钛酸钡锶 $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (即 BSTO) 形成的。但是，也可以选用所起作用相同的其它许多公知的铁电材料。例如返过来参看图 8b，含有铁电材料的电介质 812 可以被形成在具有一定厚度的薄膜层 814 中，薄膜层的厚度范围为 0.15-2 微米。可另选地，含有铁电材料的电介质 812 被形成在厚度范围为
10 1.5-1000 微米的厚膜层 814 中。在一些实施例中，含有铁电材料的电介质具有的介电常数在零伏特处的范围在 100-5000 之间。在另一些实施例中，由具有固定介电常数的第一材料形成的电介质和由铁电材料形成的电介质具有的复合介电常数在零伏特处的范围在 2-100 之间。

通过掺杂并控制居里温度 (T_c) 可以操控铁电材料的介电常数。一些常用的掺杂材料是以氧化物形式引入的钨 (W)、锰 (Mn) 和镁 (Mg)。但是，也可以使用位于元素周期表中同一列的其它同族元素。铁电材料在 T_c 下其介电常数达到最大值，随着温度沿正负两个方向的变化其介电常数迅速下降。但是，典型地高于 T_c 的一侧温度变化引致的介电常数的改变幅度较小。因此，作为电介质材料人们通常选择 T_c 小于工作温度的
20 铁电材料。

利用介电常数为 1 (空气) 的材料形成的天线的损耗小于利用较高介电常数材料形成的天线的损耗。但是，人们经常使用较高的介电常数材料以便减小天线的尺寸大小 (有效波长)。通常，天线的设计者寻找介电常数小于 100 的电介质材料。通过加入掺杂剂可以减小铁电材料的介电
25 常数，其代价是减小了介电常数的变化性 (即在每伏特作用下的介电常数的变化量变小了)。在 T_c 和掺杂之间寻求适当折中，从而可以相应于不足一伏特的偏压变化而在铁电材料电介质中实现大于 2: 1 的变化。

图 9a 和图 9b 分别是本发明所述喇叭形切口天线 (flare-notch antenna) 的局部剖面图和平面图。喇叭形切口天线 900 包括地网 902、辐射体 904
30 以及电介质 906a 和 906a，电介质 906a 和 906a 中至少一个包含有铁电材

料。地网和辐射体的是任意指定的。缝隙或切口 907 如图所示。铁电电介质 906a 和 906b 设置位于切口 907 附近。图中还示出了含有中心导体 908 和地 909 的馈送装置 (feed)。

图 9c 是说明图 9b 所示喇叭形切口天线的另一实施例的视图。如图 5 所示, 铁电电介质 906a 和 906b 包括: 至少一个由具有固定介电常数的第一材料构成的电介质层 910; 以及由具有可变介电常数的铁电材料构成的电介质 912, 其与具有固定介电常数的电介质层 910 相邻。如图所示, 含有铁电材料的电介质 912 覆盖在具有固定介电常数的电介质 910 上。通常电压被施加到铁电电介质层 912 附近的导体上以便产生所期望的介电常数。可以提供以“+”、“-”符号表示的电压。在一些实施例中, 可以在层 912 和辐射体/地网 904/902 之间插入电绝缘体 (未示出), 以便将偏压和交流信号电压分隔开。但是, 通常需要通过一片导体将偏压均匀分布到铁电电介质 912 上, 而这将对天线调谐产生干扰。因此, 通常在辐射体/地网 904/902 传送的交流信号上叠加以直流电压。没有图示的另一种 10 15 20 25 30 可选方式是, 具有固定介电常数的电介质 910 覆盖在含有铁电材料的电介质 912 上。注意, 在天线的一些实施例中, 偏压的极性与图示的极性相反。

图 9d 是说明图 9b 喇叭形切口天线的另一实施例的平面图, 该实施例具有多个固定的介电常数层。具有固定电介质的电介质层形成了第一层 910a, 其位于具有固定介电常数的电介质 912 之下; 以及第二层 910b, 其设置在含有铁电材料的电介质 912 之上。这两个固定的电介质层不必一定要具有相同的介电常数或厚度。另外, 也可以使用三层或多层固定的电介质层。没有图示的另一种可选方式是, 可以在固定的电介质层周围形成多个铁电层, 或者可以使用多层的固定电介质和铁电层。多个铁电电介质层可以具有不同的厚度, 由不同的铁电材料制成, 或者可以相应于相同的电压而具有不同的介电常数。

图 9e 是说明图 9b 所示喇叭形切口天线的另一实施例的平面图, 该实施例具有铁电材料的内层。如图所示, 含有铁电材料的电介质 912 形成在具有固定介电常数的电介质 910 的内部。注意, 尽管图示显示的是一个, 但可以设置形成多个内部区域。没有图示的另一种可选方式是, 30

具有固定介电常数的电介质 910 形成在铁电电介质 912 的内部。还应当注意，虽然内部区域在图中显示为矩形，但是其它的形状也是等同可行的，如圆环形、圆柱形、椭圆形等。在没有图示说明的其他变型实施例中，铁电材料只在辐射体的一侧上形成内部区域，例如是电介质 906a。

5 在一些实施例中，含有铁电材料的电介质 912 是由钛酸钡锶 $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (即 BSTO) 形成的。但是，也可以选用所起作用相同的其它许多公知的铁电材料。例如返过来参看图 9c，含有铁电材料的电介质 912 可以被形成在具有一定厚度的薄膜层 914 中，薄膜层的厚度范围为 0.15-2 微米。可另选地，含有铁电材料的电介质 912 被形成在厚度范围为
10 1.5-1000 微米的厚膜层 914 中。在一些实施例中，含有铁电材料的电介质具有的介电常数在零伏特处的范围在 100-5000 之间。在另一些实施例中，由具有固定介电常数的第一材料形成的电介质和由铁电材料形成的电介质具有的复合介电常数在零伏特处的范围在 2-100 之间。

通过掺杂并控制居里温度 (T_c) 可以操控铁电材料的介电常数。一些常用的掺杂材料是以氧化物形式引入的钨 (W)、锰 (Mn) 和镁 (Mg)。但是，也可以使用位于元素周期表中同一列的其它同族元素。铁电材料在 T_c 下其介电常数达到最大值，随着温度沿正负两个方向的变化其介电常数迅速下降。但是，典型地高于 T_c 的一侧温度变化引致的介电常数的改变幅度较小。因此，作为电介质材料人们通常选择 T_c 小于工作温度的
20 铁电材料。

利用介电常数为 1 (空气) 的材料形成的天线的损耗小于利用较高介电常数材料形成的天线的损耗。但是，人们经常使用较高的介电常数材料以便减小天线的尺寸大小 (有效波长)。通常，天线的设计者寻找介电常数小于 100 的电介质材料。通过加入掺杂剂可以减小铁电材料的介电
25 常数，其代价是减小了介电常数的变化性 (即在每伏特作用下的介电常数的变化量变小了)。在 T_c 和掺杂之间寻求适当折中，从而可以相应于不足一伏特的偏压变化而在铁电材料电介质中实现大于 2: 1 的变化。

图 10a-10d 显示了本发明所述的末端开口的波导天线 1000。图 10a 是本发明所述具有可选工作频率的末端开口的波导天线的局部剖面图。
30 末端开口的波导天线 1000 包括辐射体 1002 和铁电材料电介质 1006，电

介质 1006 含有铁电材料并且与辐射体 1002 相邻。电介质 1006 具有可变介电常数，其介电常数可根据施加到铁电材料上的电压的改变而改变。地网和辐射体的是任意指定的。开口端 1007 通常接地。在远离开口端 107 处可以使用介电常数为常量的电介质材料 1005。末端开口的天线的原理与设计是本领域普通技术人员众所周知的，因此为简明起见这里不再赘述。尽管使用铁电材料会给末端开口的天线带来更广范围的可选工作频率，但是设计的通用原理并不因本发明使用铁电材料而有所不同。

天线 1000 具有预先设定的与谐振频率无关的固定特性阻抗。另选地，天线 1000 具有预先设定的与谐振频率无关的近似常量的增益。

10 图 10b 是说明图 10a 所示末端开口的波导天线的另一实施例的剖面图。如图所示，电介质 1006 包括：至少一个由具有固定介电常数的第一材料构成的电介质层 1010；以及由具有可变介电常数的铁电材料构成的电介质 1012，其与具有固定介电常数的电介质层 1010 相邻。如图所示，含有铁电材料的电介质 1012 覆盖在具有固定介电常数的电介质 1010 上。通常电压被施加到铁电电介质层 1012 附近的导体上以便产生所期望的介电常数。可以提供以“+”、“-”符号表示的电压。在一些实施例中，可以在层 1012 和辐射体 1002 之间插入电绝缘体（未示出），以便将偏压和交流信号电压分隔开。但是，通常需要通过一片导体将偏压均匀分布到铁电电介质 1012 上，而这将对天线调谐产生干扰。因此，可以在辐射体 1002 中形成电绝缘的狭缝 1009 以隔离两个偏置电压的极性。直流电压通常被叠加在由辐射体的一半（halves）传导的交流信号上。没有图示的另一种可选方式是，具有固定介电常数的电介质 1010 覆盖在含有铁电材料的电介质 1012 上。注意，在天线的一些实施例中，偏压的极性与图示的极性相反。

25 图 10c 是说明图 10a 所示末端开口的波导天线的另一实施例的剖面图，该实施例具有多个固定的介电常数层。具有固定电介质的电介质层形成了第一层 1010a，其位于具有固定介电常数的电介质 1012 之下；以及第二层 1010b，其设置在含有铁电材料的电介质 1012 之上。这两个固定的电介质层不必一定要具有相同的介电常数或厚度。另外，也可以使用三层或多层固定的电介质层。没有图示的另一种可选方式是，可以在

固定的电介质层周围形成多个铁电层，或者可以使用多层的固定电介质和铁电层。多个铁电电介质层可以具有不同的厚度，由不同的铁电材料制成，或者可以相应于相同的电压而具有不同的介电常数。

图 10d 是说明图 10a 所示末端开口的波导天线的另一实施例的剖面图，该实施例具有铁电材料的内层。如图所示，含有铁电材料的电介质 1012 形成在具有固定介电常数的电介质 1010 的内部。注意，尽管图示显示的是一个，但可以设置形成多个内部区域。没有图示的另一种可选方式是，具有固定介电常数的电介质 1010 形成在铁电电介质 1012 的内部。还应当注意，虽然内部区域在图中显示为矩形，但是其它的形状也是等
5
10
同可行的，如圆环形、圆柱形、椭圆形等。在没有图示说明的其他变型实施例中，与图 7e 和 7f 相等地，直流偏压是由辐射体 1002 内部的面板提供的，因此不需要形成缝隙 1009。

在一些实施例中，含有铁电材料的电介质 1012 是由钛酸钡锶 $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (即 BSTO) 形成的。但是，也可以选用所起作用相同的其它许多公知的铁电材料。例如返过来参看图 10b，含有铁电材料的电介质 1012 可以被形成在具有一定厚度的薄膜层 1014 中，薄膜层的厚度范围为 0.15-2 微米。可另选地，含有铁电材料的电介质 1012 被形成在厚度范围为 1.5-1000 微米的厚膜层 1014 中。在一些实施例中，含有铁电材料的电介质具有的介电常数在零伏特处的范围在 100-5000 之间。在另一些实施
15
20
例中，由具有固定介电常数的第一材料形成的电介质和由铁电材料形成的电介质具有的复合介电常数在零伏特处的范围在 2-100 之间。

通过掺杂并控制居里温度 (T_c) 可以操控铁电材料的介电常数。一些常用的掺杂材料是以氧化物形式引入的钨 (W)、锰 (Mn) 和镁 (Mg)。但是，也可以使用位于元素周期表中同一列的其它同族元素。铁电材料在 T_c 下其介电常数达到最大值，随着温度沿正负两个方向的变化其介电
25
常数迅速下降。但是，典型地高于 T_c 的一侧温度变化引致的介电常数的改变幅度较小。因此，作为电介质材料人们通常选择 T_c 小于工作温度的铁电材料。

利用介电常数为 1 (空气) 的材料形成的天线的损耗小于利用较高介
30
电常数材料形成的天线的损耗。但是，人们经常使用较高的介电常数材

料以便减小天线的尺寸大小（有效波长）。通常，天线的设计者寻找介电常数小于 100 的电介质材料。通过加入掺杂剂可以减小铁电材料的介电常数，其代价是减小了介电常数的变化性（即在每伏特作用下的介电常数的变化量变小了）。在 Tc 和掺杂之间寻求适当折中，从而可以相应于
5 不足一伏特的偏压变化而在铁电材料电介质中实现大于 2: 1 的变化。

返回去参看图 10a 和 10b, 尽管图中描绘出的是末端开口的矩形波导, 但是上述分析与描述说明也适用于末端开口的圆形波导以及末端开口的平行板天线。另外, 末端开口的波导天线 1000 的信号馈送装置可以选择自同轴电缆、平行板、或任意种类的波导。

10 图 11a 至 11e 是本发明具有可选工作频率的喇叭天线 (horn antenna) 的视图。如图 11a 所示, 喇叭天线 1100 包括辐射体喇叭 1102 电介质 1106, 电介质 1106 含有铁电材料并且与辐射体喇叭 1102 相邻。电介质 1006 具有可变介电常数, 其介电常数根据施加到铁电材料上的电压的改变而改变。图中示出了具有中心导体 1005 的同轴馈送线 1004。喇叭 1102 的电
15 长度 1109 响应于所述介电常数。该电长度相对于谐振频率恒定。喇叭可以接地也可以开路。而且地网和辐射体是任意指定的。喇叭天线的原理与设计是本领域普通技术人员众所周知的, 因此为简明起见这里不再赘述。尽管使用铁电材料会给喇叭天线带来更广范围的可选工作频率, 但是设计的通用原理并不因本发明使用铁电材料而有所不同。

20 喇叭天线 1100 具有预先设定的与谐振频率无关的固定特性阻抗。另选地, 天线 1100 具有预先设定的与谐振频率无关的近似常量的增益。

图 11b 是说明图 11a 所示喇叭天线的另一实施例的剖面图。如图所示, 电介质 1106 包括: 至少一个由具有固定介电常数的第一材料构成的电介质层 1110; 以及由具有可变介电常数的铁电材料构成的电介质 1112, 其
25 其与具有固定介电常数的电介质层 1110 相邻。如图所示, 含有铁电材料的电介质 1112 覆盖在具有固定介电常数的电介质 1110 上。通常电压被施加到铁电电介质层 1112 附近的导体上以便产生所期望的介电常数。可以提供以“+”、“-”符号表示的电压。在一些实施例中, 可以在层 1112 和辐射体喇叭 1102 之间插入电绝缘体 (未示出), 以便将偏压和交流信号
30 电压分隔开。但是, 通常需要通过一片导体将偏压均匀分布到铁电电

介质 1112 上，而这将对天线调谐产生干扰。因此，可以在辐射体 1102 中形成电绝缘的狭缝 1108 以隔离两个偏置电压的极性。直流电压通常被叠加在由辐射体的一半 (halves) 传导的交流信号上。没有图示的另一种可选方式是，具有固定介电常数的电介质 1110 覆盖在含有铁电材料的电介质 1112 上。注意，在天线的一些实施例中，偏压的极性与图示的极性相反。

图 11c 和 11d 是说明图 11a 所示喇叭天线 1100 的另一实施例的剖面图，该实施例具有多个固定的介电常数层。具有固定电介质的电介质层形成了第一层 1110a，其位于具有固定介电常数的电介质 1112 之下；以及第二层 1110b，其设置在含有铁电材料的电介质 1112 之上。这两个固定的电介质层不必一定要具有相同的介电常数或厚度。另外，也可以使用三层或多层固定的电介质层。没有图示的另一种可选方式是，可以在固定的电介质层周围形成多个铁电层，或者可以使用多层的固定电介质和铁电层。多个铁电电介质层可以具有不同的厚度，由不同的铁电材料制成，或者可以相应于相同的电压而具有不同的介电常数。

图 11e 是说明图 10a 所示喇叭天线的另一实施例的剖面图，该实施例具有铁电材料的内层。如图所示，含有铁电材料的电介质 1112 形成在具有固定介电常数的电介质 1110 的内部。注意，尽管图示显示的是一个，但可以设置形成多个内部区域。没有图示的另一种可选方式是，具有固定介电常数的电介质 1110 形成在铁电电介质 1112 的内部。还应当注意，虽然内部区域在图中显示为矩形，但是其它的形状也是等同可行的，如圆环形、圆柱形、椭圆形等。在没有图示说明的其他变型实施例中，与图 7e 和 7f 相等同地，直流偏压是由辐射体 1002 内部的面板提供的，因此不需要形成缝隙 1108。

在一些实施例中，含有铁电材料的电介质 1112 是由钛酸钡锶 $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (即 BSTO) 形成的。但是，也可以选用所起作用相同的其它许多公知的铁电材料。例如返过来参看图 11d，含有铁电材料的电介质 1112 可以被形成在具有一定厚度的薄膜层 1114 中，薄膜层的厚度范围为 0.15-2 微米。可另选地，含有铁电材料的电介质 1112 被形成在厚度范围为 1.5-1000 微米的厚膜层 1114 中。在一些实施例中，含有铁电材料的电

介质具有的介电常数在零伏特处的范围在 100-5000 之间。在另一些实施例中，由具有固定介电常数的第一材料形成的电介质和由铁电材料形成的电介质具有的复合介电常数在零伏特处的范围在 2-100 之间。

通过掺杂并控制居里温度 (T_c) 可以操控铁电材料的介电常数。一些常用的掺杂材料是以氧化物形式引入的钨 (W)、锰 (Mn) 和镁 (Mg)。但是，也可以使用位于元素周期表中同一列的其它同族元素。铁电材料在 T_c 下其介电常数达到最大值，随着温度沿正负两个方向的变化其介电常数迅速下降。但是，典型地高于 T_c 的一侧温度变化引致的介电常数的改变幅度较小。因此，作为电介质材料人们通常选择 T_c 小于工作温度的铁电材料。

利用介电常数为 1 (空气) 的材料形成的天线的损耗小于利用较高介电常数材料形成的天线的损耗。但是，人们经常使用较高的介电常数材料以便减小天线的尺寸大小 (有效波长)。通常，天线的设计者寻找介电常数小于 100 的电介质材料。通过加入掺杂剂可以减小铁电材料的介电常数，其代价是减小了介电常数的变化性 (即在每伏特作用下的介电常数的变化量变小了)。在 T_c 和掺杂之间寻求适当折中，从而可以相应于不足一伏特的偏压变化而在铁电材料电介质中实现大于 2: 1 的变化。

返回去看图 11a，上述关于喇叭天线的论述同样适合于矩形波导、圆形波导、以及平行板的喇叭天线，其使用的信号可以来自同轴电缆、圆形波导、矩形波导、或平行板信号馈送装置。

图 12a 至 12f 描绘的是本发明所述具有可选工作频率的单极天线。在图 12a 中，单极天线 1200 包括辐射体 1202、地网 1204、以及至少部分地环绕辐射体 1202 的电介质 1206。电介质包含具有可变介电常数的铁电材料，其介电常数可根据施加到铁电材料上的电压的改变而改变。辐射体 1202 的电长度 1208 根据该介电常数的改变而改变。没有图示的另一种可选方式是，辐射体 1202 可以形成为螺线形。单极天线的原理与设计是本领域普通技术人员众所周知的，因此为简明起见这里不再赘述。尽管使用铁电材料会给单极天线带来更广范围的可选工作频率，但是设计的通用原理并不因本发明使用铁电材料而有所不同。

天线 1200 具有预先设定的与谐振频率无关的固定特性阻抗。即，辐

射体的电长度相对于谐振频率是恒量。另选地，天线 1200 具有预先设定的与谐振频率无关的近似常量的增益。

图 12b 是说明图 12a 所示单极天线的另一实施例的视图。如图所示，电介质 1206 包括：至少一个电介质层 1210，其由具有固定介电常数的第一材料制成；以及电介质 1212，其由具有可变介电常数的铁电材料制成，并且与具有固定介电常数的电介质层 1210 相邻。如图所示，含有铁电材料的电介质 1212 覆盖在具有固定介电常数的电介质 1210 上。通常电压被施加到铁电电介质层 1212 附近的导体上以便产生所期望的介电常数。可以提供以“+”、“-”符号表示的电压。在一些实施例中，可以在层 1212 与辐射体 1202 之间插入电绝缘体（未示出），以便将偏压和交流信号电压分隔开。但是，通常需要通过一片导体将偏压均匀分布到铁电电介质 1212 上，而这将对天线调谐产生干扰。因此，通常在辐射体 1202 传送的交流信号上叠加以直流电压，并且为导电面板 1214 提供参考地。注意，在天线的一些实施例中，偏压的极性与图示的极性相反。在其它一些实施例中，辐射体 1202 不再承载直流偏压，两个偏压的极性改由面板 1214 承受。

图 12c 是说明图 12a 单极天线 1200 的另一实施例的视图，该实施例具有多个固定的介电常数层。具有固定电介质的电介质层形成了第一层 1210a，其位于具有固定介电常数的电介质 1212 之下；以及第二层 1210b，其设置在含有铁电材料的电介质 1212 之上。这两个固定的电介质层不必一定要具有相同的介电常数或厚度。另外，也可以使用三层或多层固定的电介质层。没有图示的另一种可选方式是，可以在固定的电介质层周围形成多个铁电层，或者可以使用多层的固定电介质和铁电层。多个铁电电介质层可以具有不同的厚度，由不同的铁电材料制成，或者可以相应于相同的电压而具有不同的介电常数。

图 12d 是说明图 12a 所示单极天线的另一实施例的剖面图，该实施例具有铁电材料的内层。如图所示，含有铁电材料的电介质 1212 形成在具有固定介电常数的电介质 1210 的内部。注意，尽管图示显示的是一个，但可以设置形成多个内部区域。没有图示的另一种可选方式是，具有固定介电常数的电介质 1210 形成在铁电电介质 1212 的内部。还应当注意，

虽然内部区域在图中显示为矩形，但是其它的形状也是等同可行的，如圆环形、圆柱形、椭圆形等。

图 12e 和 12f 示出了本发明所述单极天线的其它一些实施例。

在一些实施例中，含有铁电材料的电介质 1212 是由钛酸钡锶 $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$ (即 BSTO) 形成的。但是，也可以选用所起作用相同的其它许多公知的铁电材料。例如返过来参看图 12b，含有铁电材料的电介质 1212 可以被形成在具有一定厚度的薄膜层 1214 中，薄膜层的厚度范围为 0.15-2 微米。可另选地，含有铁电材料的电介质 1212 被形成在厚度范围为 1.5-1000 微米的厚膜层 1214 中。在一些实施例中，含有铁电材料的电介质具有的介电常数在零伏特处的范围在 100-5000 之间。在另一些实施例中，由具有固定介电常数的第一材料形成的电介质和由铁电材料形成的电介质具有的复合介电常数在零伏特处的范围在 2-100 之间。

通过掺杂并控制居里温度 (T_c) 可以操控铁电材料的介电常数。一些常用的掺杂材料是以氧化物形式引入的钨 (W)、锰 (Mn) 和镁 (Mg)。但是，也可以使用位于元素周期表中同一列的其它同族元素。铁电材料在 T_c 下其介电常数达到最大值，随着温度沿正负两个方向的变化其介电常数迅速下降。但是，典型地高于 T_c 的一侧温度变化引致的介电常数的改变幅度较小。因此，作为电介质材料人们通常选择 T_c 小于工作温度的铁电材料。

利用介电常数为 1 (空气) 的材料形成的天线的损耗小于利用较高介电常数材料形成的天线的损耗。但是，人们经常使用较高的介电常数材料以便减小天线的尺寸大小 (有效波长)。通常，天线的设计者寻找介电常数小于 100 的电介质材料。通过加入掺杂剂可以减小铁电材料的介电常数，其代价是减小了介电常数的变化性 (即在每伏特作用下的介电常数的变化量变小了)。在 T_c 和掺杂之间寻求适当折中，从而可以相应于不足一伏特的偏压变化而在铁电材料电介质中实现大于 2: 1 的变化。

图 13a 至 13f 描绘的是本发明所述具有可选工作频率的双极天线。在图 13a 中，双极天线 1300 包括辐射体 1302、地网 1304、以及至少部分地环绕辐射体 1302 的电介质 1306。电介质 1306 包含具有可变介电常数的铁电材料，其介电常数根据施加到铁电材料上的电压的改变而改变。

辐射体和地网具有的电长度 1308 根据该介电常数的改变而改变。没有图示的另一种可选方式是，辐射体 1302、地网 1304、或者它们两者同时可以形成为螺旋形。双极天线的原理与设计是本领域普通技术人员众所周知的，因此为简明起见这里不再赘述。尽管使用铁电材料会给双极天线带来更广范围的可选工作频率，但是设计的通用原理并不因本发明使用铁电材料而有所不同。

天线 1300 具有预先设定的与谐振频率无关的固定特性阻抗。即，辐射体的电长度相对于谐振频率是恒量。通常辐射体 1302 和地网 1304 的电长度相对于电介质为二分之一或者四分之一的谐振频率波长。另选地，该天线具有预先设定的与谐振频率无关的近似常量的增益。

图 13b 是说明图 13a 所示单极天线的另一实施例的视图。如图所示，电介质 1306 包括：至少一个电介质层 1310，其由具有固定介电常数的第一材料制成；以及电介质 1312，其由具有可变介电常数的铁电材料制成，并且与具有固定介电常数的电介质层 1310 相邻。如图所示，含有铁电材料的电介质 1312 覆盖在具有固定介电常数的电介质 1310 上。通常电压被施加到铁电电介质层 1312 附近的导体上以便产生所期望的介电常数。可以提供以“+”、“-”符号表示的电压。在一些实施例中，可以在层 1312 与辐射体 1302 之间插入电绝缘体（未示出），以便将偏压和交流信号电压分隔开。但是，通常需要通过一片导体将偏压均匀分布到铁电电介质 1312 上，而这将对天线调谐产生干扰。因此，通常在辐射体 1302 传送的交流信号上叠加以直流电压，并且为导电面板 1314 提供参考地。注意，在天线的一些实施例中，偏压的极性与图示的极性相反。在其它一些实施例中，辐射体 1302 不再承载直流偏压，两个偏压的极性改由面板 1314 承受。

图 13c 是说明图 13a 所示单极天线 1300 的另一实施例的视图，该实施例具有多个固定的介电常数层。具有固定电介质的电介质层形成了第一层 1310a，其位于具有固定介电常数的电介质 1312 之下；以及第二层 1310b，其设置在含有铁电材料的电介质 1312 之上。这两个固定的电介质层不必一定要具有相同的介电常数或厚度。另外，也可以使用三层或多层固定的电介质层。没有图示的另一种可选方式是，可以在固定的电

介质层周围形成多个铁电层，或者可以使用多层的固定电介质和铁电层。多个铁电电介质层可以具有不同的厚度，由不同的铁电材料制成，或者可以相应于相同的电压而具有不同的介电常数。

图 13d 是说明图 13a 双极天线的另一实施例的视图，该实施例具有铁电材料的内层。如图所示，含有铁电材料的电介质 1312 形成在具有固定介电常数的电介质 1310 的内部。注意，尽管图示显示的是一个，但可以设置形成多个内部区域。没有图示的另一种可选方式是，具有固定介电常数的电介质 1310 形成在铁电电介质 1312 的内部。还应当注意，虽然内部区域在图中显示为矩形，但是其它的形状也是等同可行的，如圆环形、圆柱形、椭圆形等。

图 13e 和 13f 示出了本发明所述单极天线的其它一些实施例。

含有铁电材料的电介质 1212 是由钛酸钡锶 $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (即 BSTO) 形成的。但是，也可以选用所起作用相同的其它许多公知的铁电材料。例如返过来参看图 12b，含有铁电材料的电介质 1212 可以被形成在具有一定厚度的薄膜层 1214 中，薄膜层的厚度范围为 0.15-2 微米。可另选地，含有铁电材料的电介质 1212 被形成在厚度范围为 1.5-1000 微米的厚膜层 1214 中。在一些实施例中，含有铁电材料的电介质具有的介电常数在零伏特处的范围在 100-5000 之间。在另一些实施例中，由具有固定介电常数的第一材料形成的电介质和由铁电材料形成的电介质具有的复合介电常数在零伏特处的范围在 2-100 之间。

通过掺杂并控制居里温度 (T_c) 可以操控铁电材料的介电常数。一些常用的掺杂材料是以氧化物形式引入的钨 (W)、锰 (Mn) 和镁 (Mg)。但是，也可以使用位于元素周期表中同一列的其它同族元素。铁电材料在 T_c 下其介电常数达到最大值，随着温度沿正负两个方向的变化其介电常数迅速下降。但是，典型地高于 T_c 的一侧温度变化引致的介电常数的改变幅度较小。因此，作为电介质材料人们通常选择 T_c 小于工作温度的铁电材料。

利用介电常数为 1 (空气) 的材料形成的天线的损耗小于利用较高介电常数材料形成的天线的损耗。但是，人们经常使用较高的介电常数材料以便减小天线的尺寸大小 (有效波长)。通常，天线的设计者寻找介电

常数小于 100 的电介质材料。通过加入掺杂剂可以减小铁电材料的介电常数，其代价是减小了介电常数的变化性（即在每伏特作用下的介电常数的变化量变小了）。在 T_c 和掺杂之间寻求适当折中，从而可以相应于不足一伏特的偏压变化而在铁电材料电介质中实现大于 2: 1 的变化。

5 图 14 是说明用于对单频带无线通信天线进行频率调谐的本发明方法的流程图。尽管为了清楚起见用一系列编号步骤表述该方法，但是除了有明确说明之外不应以步骤的数字编号来推断步骤的执行次序。应能理解，这些步骤的一些是可以跳过去不予执行的，一些是可以并行执行的，还有一些是可以不必依严格顺序而执行的。该方法起始于步骤 1400。步骤 1402 形成了单辐射体。在一些实施例中，步骤 1404 形成到辐射体的地网。步骤 1406 形成了邻近辐射体的含有铁电材料的电介质。步骤 1408 施加电压到铁电材料。在步骤 1410 中，根据所施加的电压而产生介电常数。在步骤 1412 中，根据所产生的介电常数而在谐振频率上进行电磁场传播。

15 在该方法的一些实施例中还包括以下步骤，即，改变施加电压的步骤 1414。然后，在步骤 1416 中根据施加电压的改变而改变谐振频率。在一些实施例中，改变谐振频率包括形成具有可根据施加电压而变化的工作频率的天线。

20 形成具有可变工作频率的天线包括形成具有预先设定的与谐振频率无关的固定特性阻抗的天线。在其它实施例中，形成具有可变工作频率的天线包括形成具有预先设定的与谐振频率无关的近似恒定增益的天线。

25 在一些实施例中，形成含有铁电材料的电介质的步骤 1406 包含以下子步骤。步骤 1406a 形成了由具有固定介电常数的第一材料制成的电介质。步骤 1406b 形成了由具有可变介电常数的铁电材料制成的电介质。然后，根据可变介电常数改变谐振频率的步骤 1416 包括根据铁电材料的介电常数的改变而改变谐振频率。

30 在其它实施例中，形成含有铁电材料电介质的步骤 1406 包括形成含有多种介电材料的电介质，所述每种介电材料都由具有固定介电常数的材料制成。另选地，步骤 1406 包括形成具有多种铁电材料的电介质，所

述每种铁电材料都具有可变的介电常数。

在一个实施例中，步骤 1406 包括形成与含有铁电材料的电介质相邻的具有固定介电常数的电介质。在该方法的一个实施例中，步骤 1406a 包括形成与辐射体相邻的具有固定介电常数的电介质。另选地，步骤 5 1406b 包括形成与辐射体相邻的含有铁电材料的电介质。

在另一个实施例中，形成具有固定介电常数电介质的步骤 1406a 包括从下列材料构成的组中选择材料用于制造形成电介质，该组包括：泡沫材料、空气、FR4、氧化铝（Aluminina）、和 TMM。步骤 1406b 包括由钛酸钡锶 $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (BSTO) 制造形成含有铁电材料的电介质。

10 在一些实施例中，步骤 1406 中形成含有铁电材料的电介质包括在厚度范围为 0.15-2 微米的薄膜中形成铁电材料。另选地，也可形成厚度范围为 1.5-1000 微米的厚膜。在一些实施例中，步骤 1406 包括形成介电常数范围在零伏特处为 100-5000 的电介质。在另一些实施例中，形成含有铁电材料的电介质包括形成铁电电介质层（步骤 1406b）和固定介电常数电介质层（步骤 1406a），其复合介电常数范围在零伏特处为 2-100。

在一些实施例中，步骤 1412 在谐振频率上进行电磁场传播包括在诸如 824 和 894MHz 以及 1850 和 1990MHz 的谐振频率上进行电磁场传播。

在一些实施例中，步骤 1410 施加电压给铁电材料包括施加范围为 0-3.3 伏特的相对直流电压。

20 图 15 是说明图 14 所示方法的另一替代方式的流程图。该方法起始于步骤 1500。步骤 1502 在邻近含有铁电材料的电介质附近提供了单辐射体。步骤 1504 施加电压到铁电材料。在步骤 1506 中根据施加的电压来改变铁电材料的介电常数。在步骤 1508 中响应铁电材料的介电常数的改变而改变辐射体的谐振频率。

25 上文已经提供了一系列制造含有铁电电介质材料的天线。并且也已经阐述了一些天线型式的基本概念。但是，本发明并不仅仅局限于这些天线设计。实际上，本发明的铁电电介质材料能够被应用到所有使用电介质的天线上。类似地，上文已经给出了一些铁电材料电介质布设方式的实施例，但是本发明仍然并不仅仅局限于这些实施例。本发明的其它 30 变型与实施例对于本领域普通技术人员而言是显而易见的。

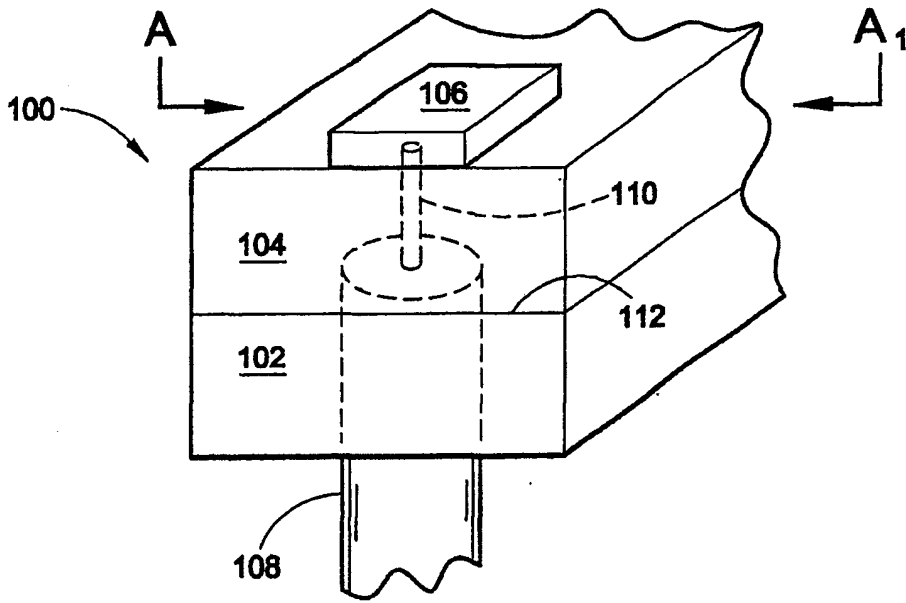


图 1a

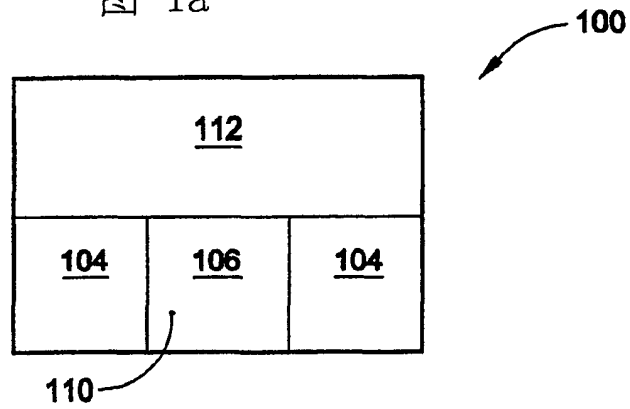


图 1b

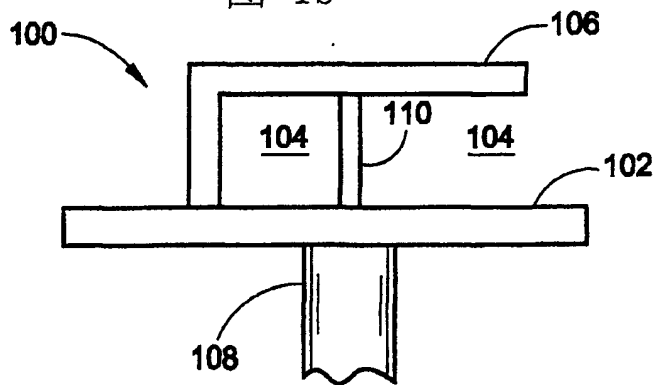


图 1c

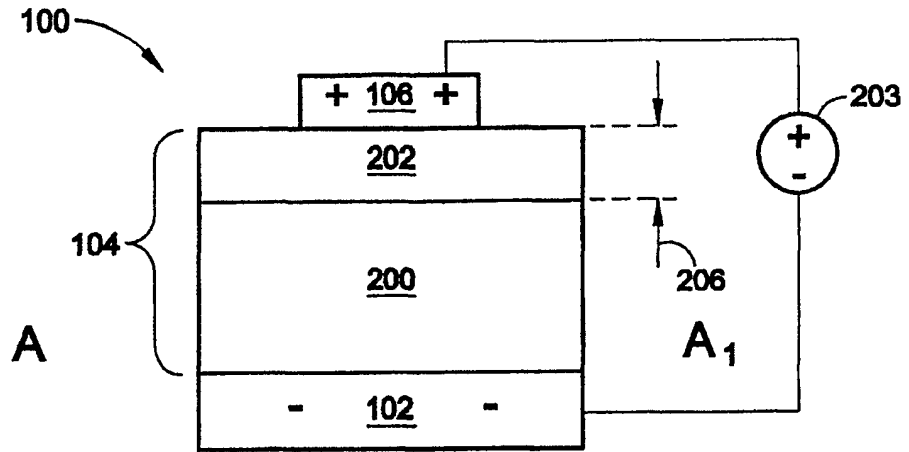


图 2

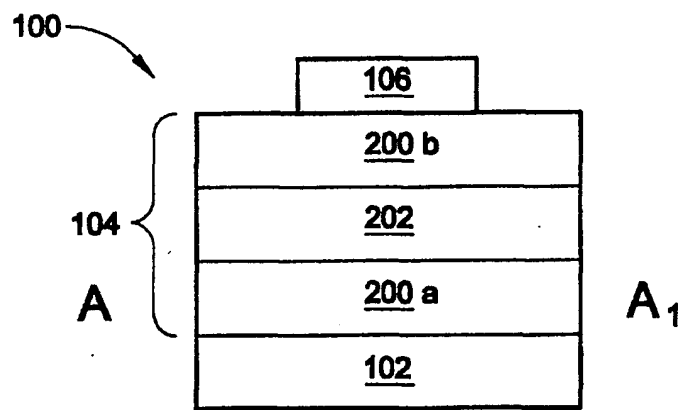


图 3

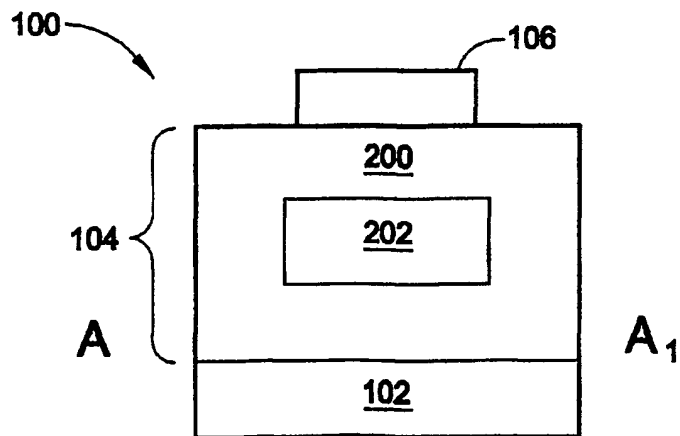


图 4

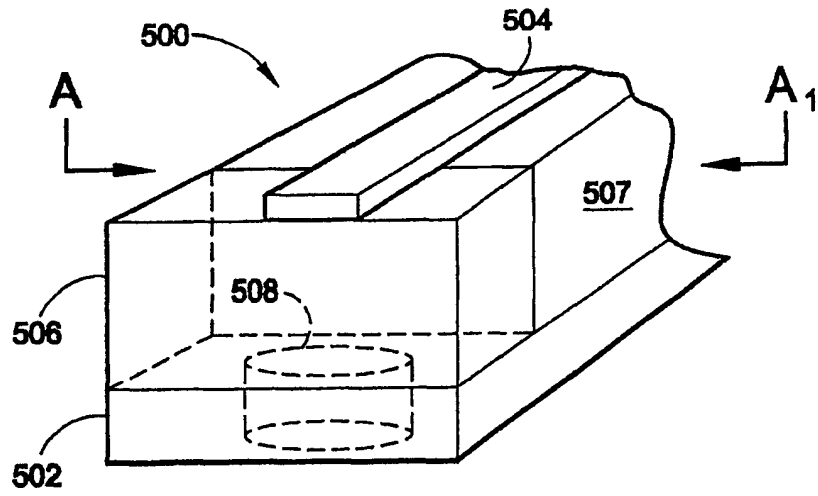


图 5a

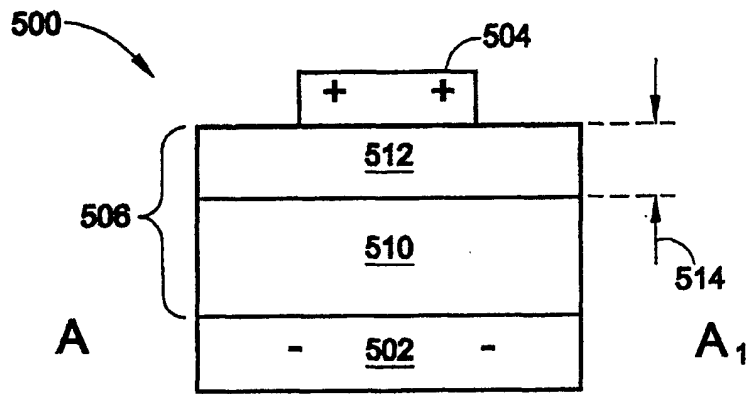


图 5b

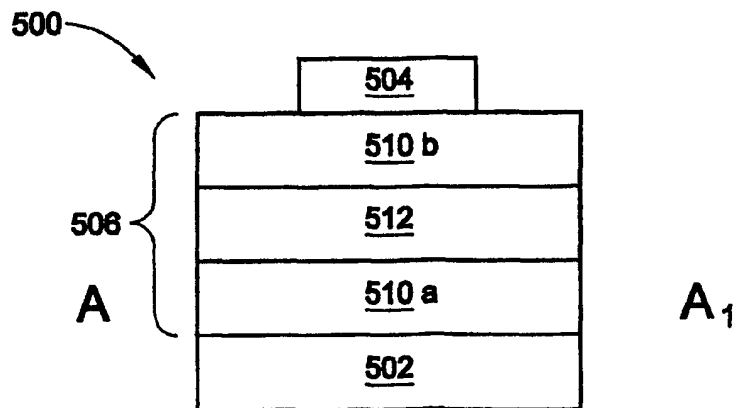


图 5c

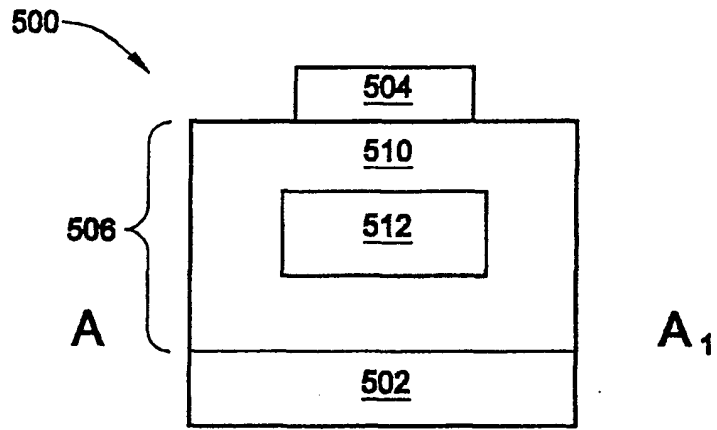


图 5d

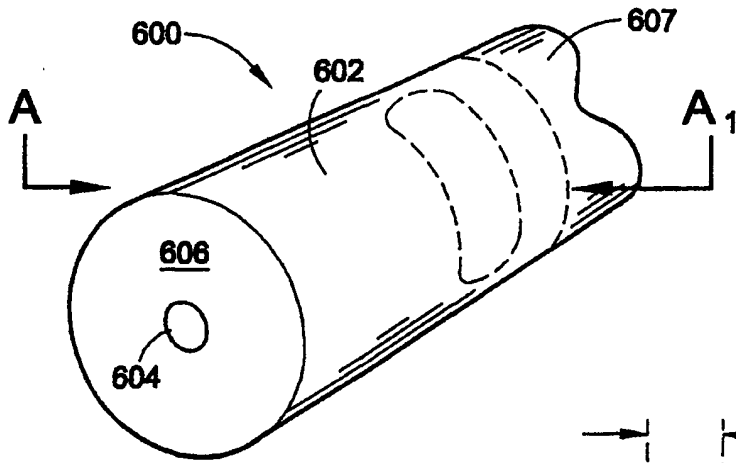


图 6a

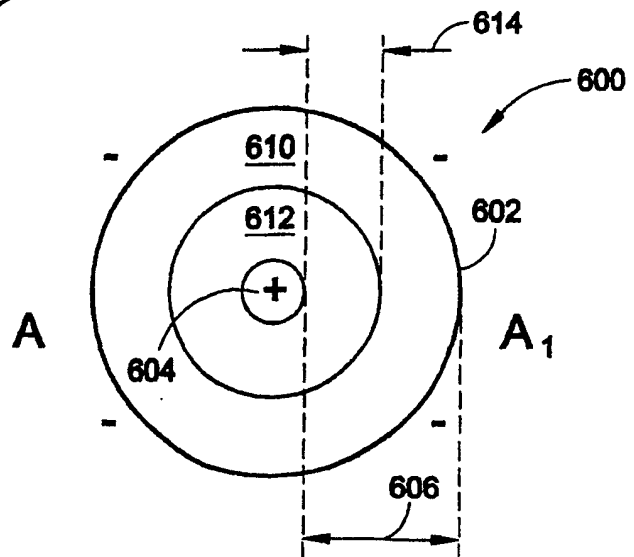


图 6b

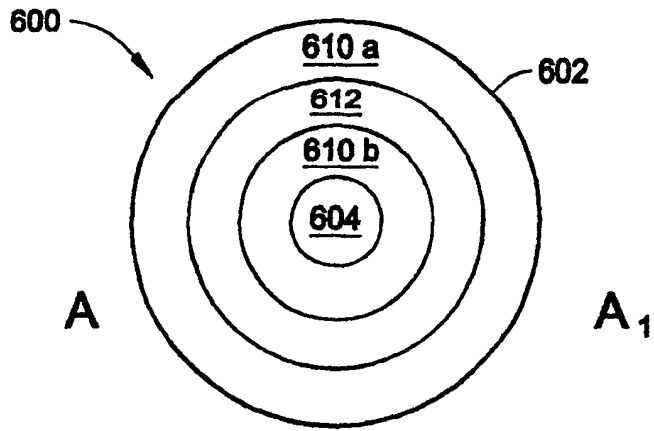


图 6c

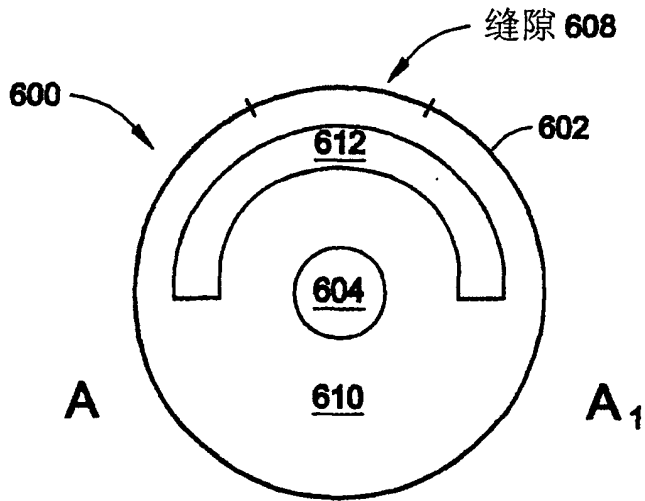


图 6d

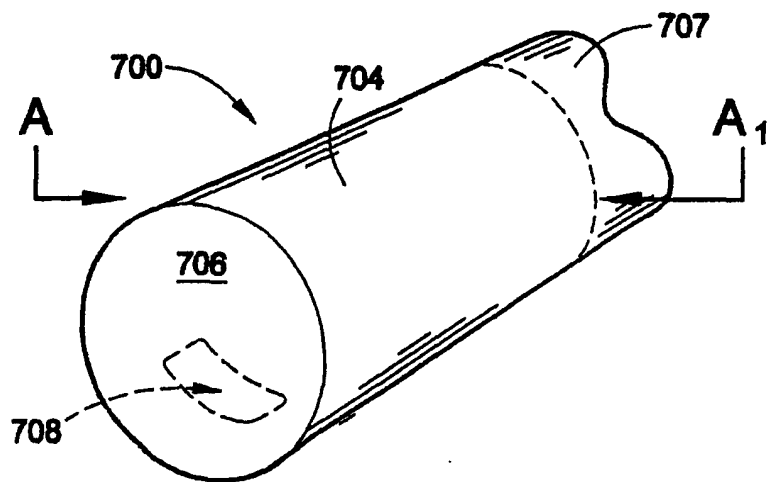


图 7a

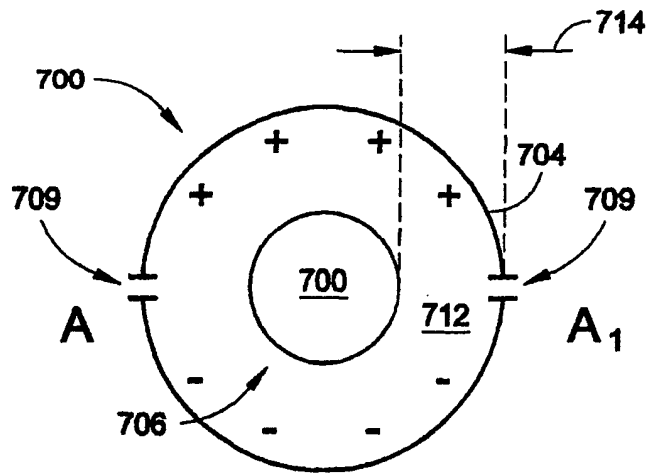


图 7b

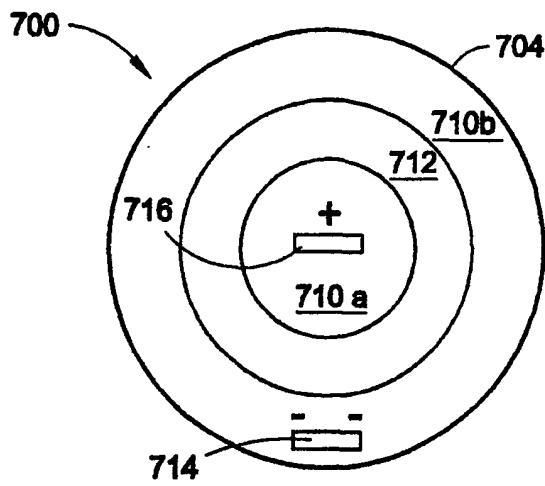


图 7e

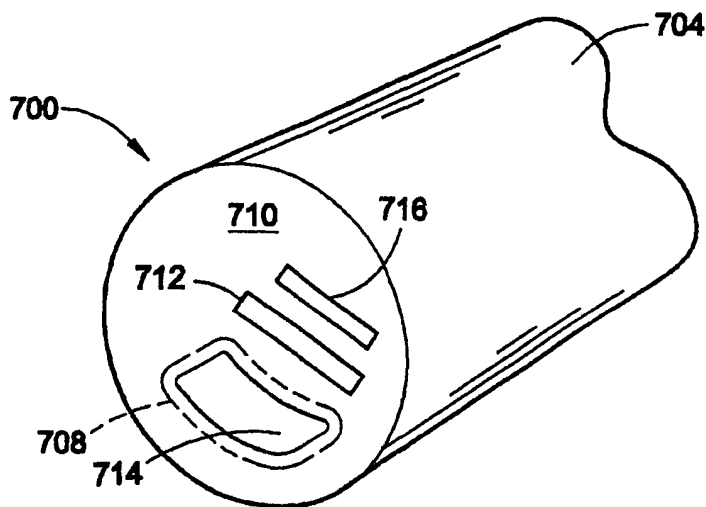


图 7f

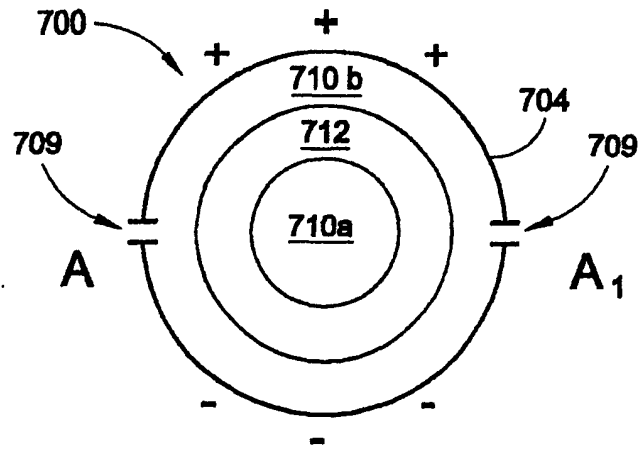


图 7c

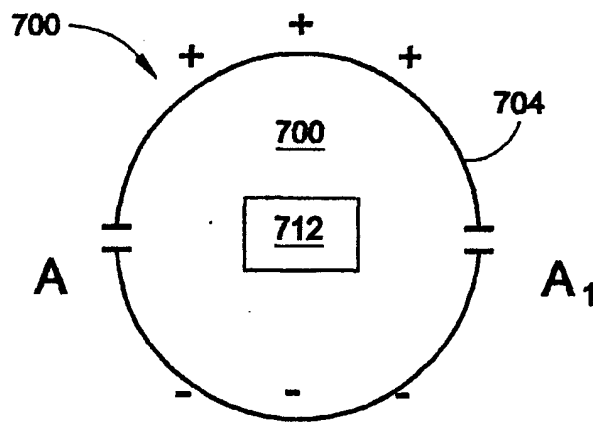


图 7d

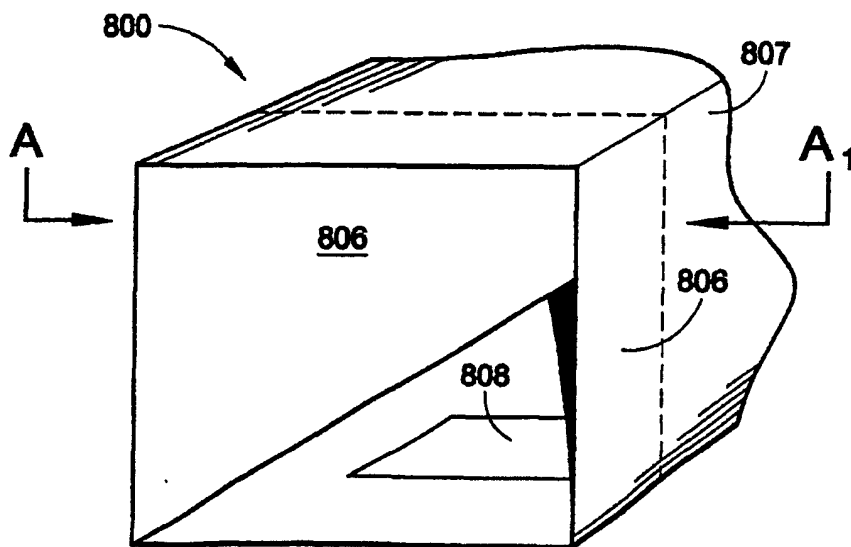


图 8a

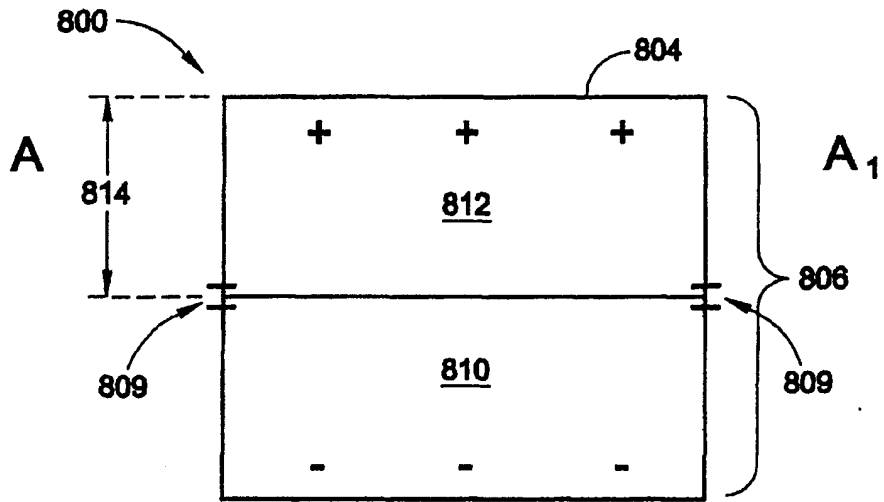


图 8b

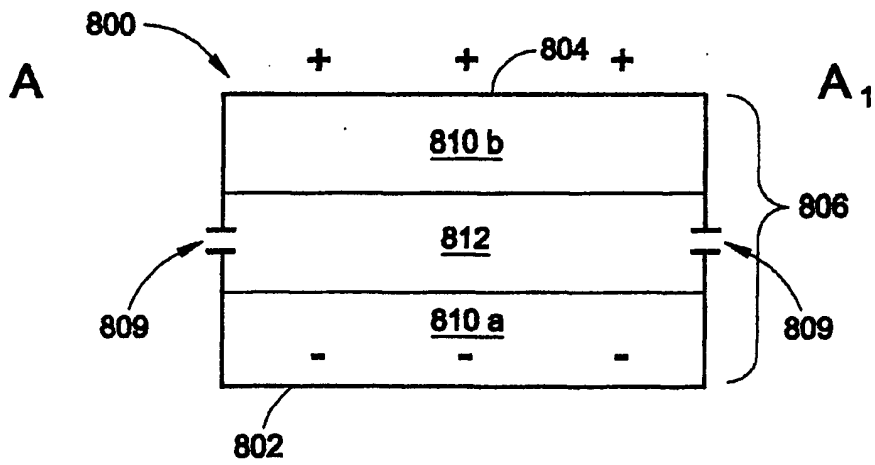


图 8c

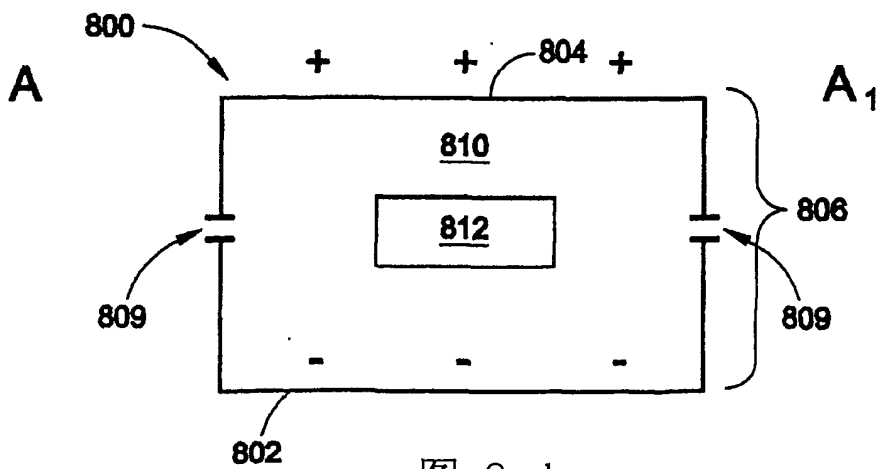


图 8 d

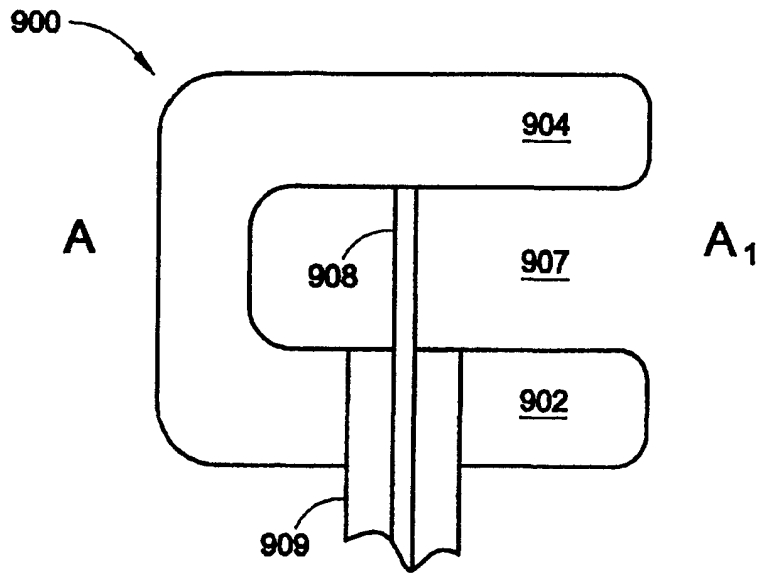


图 9a

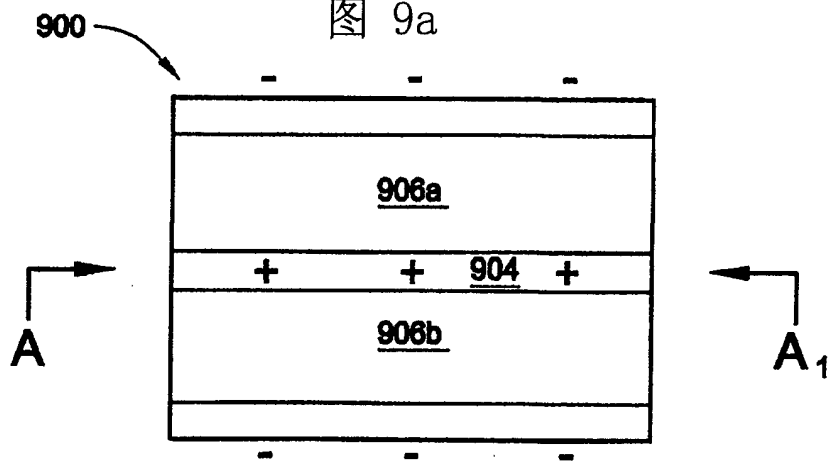


图 9b

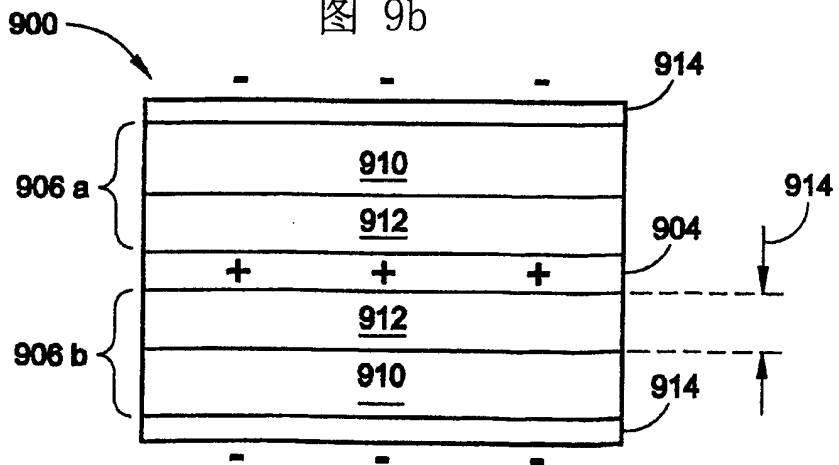


图 9c

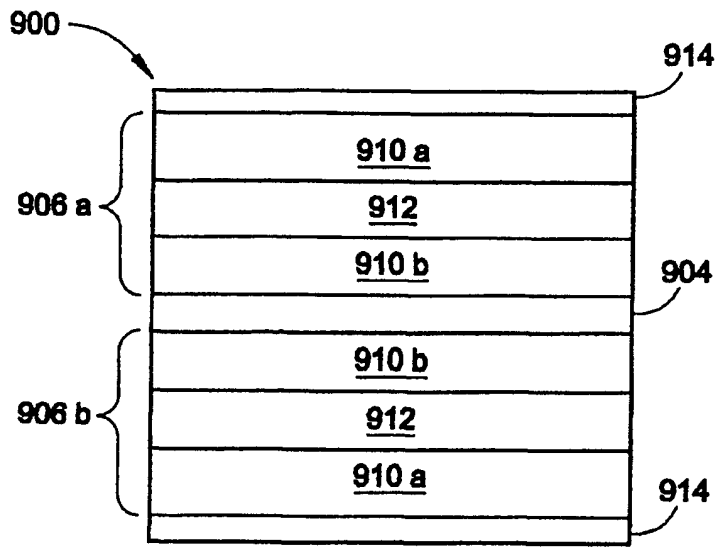


图 9d

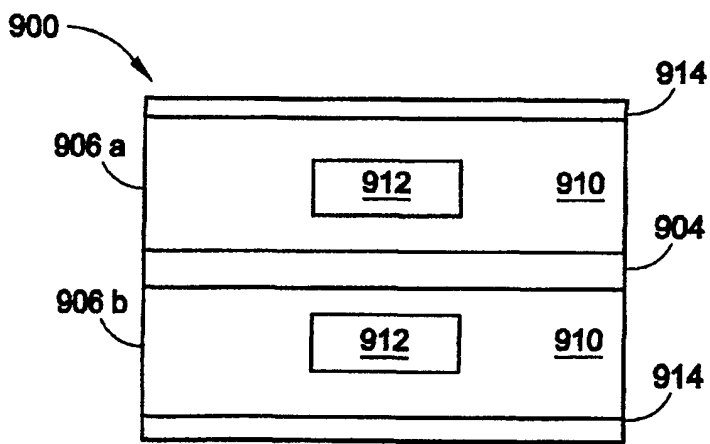


图 9e

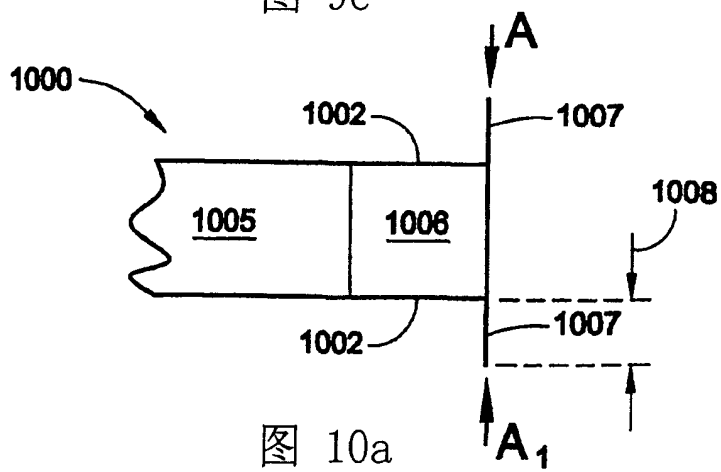


图 10a

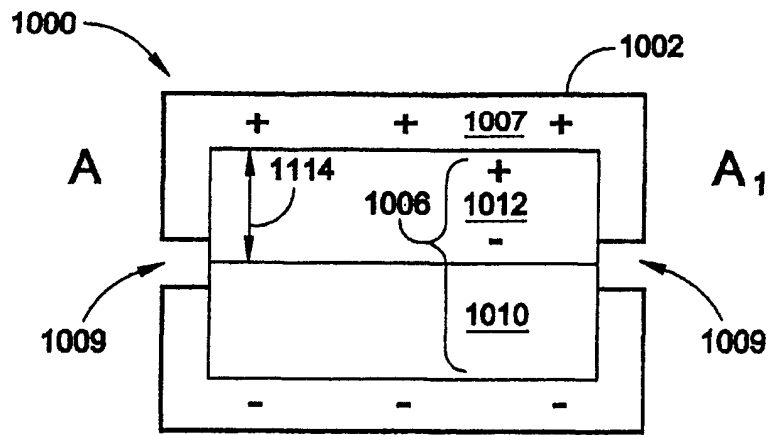


图 10b

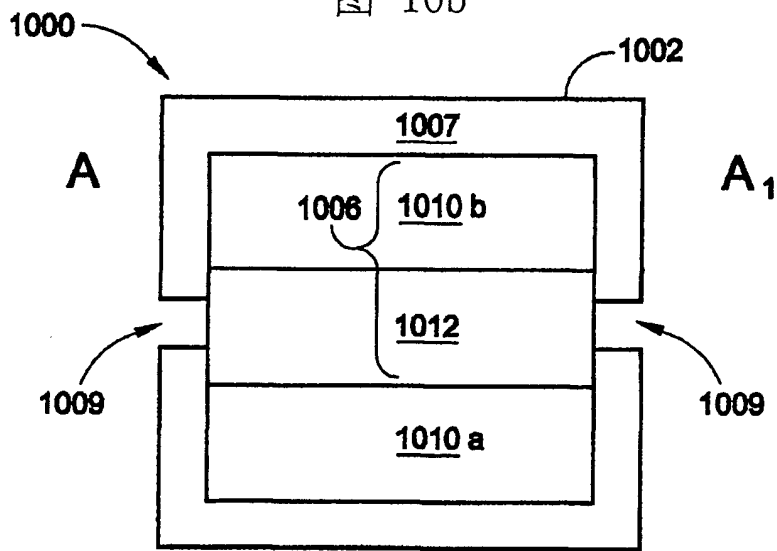


图 10c

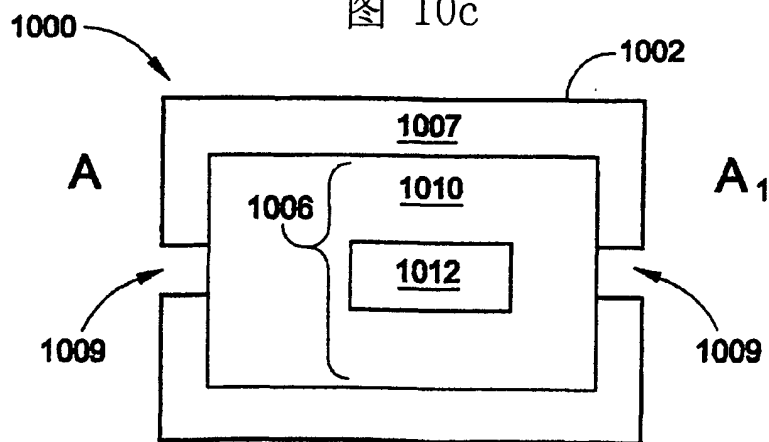


图 10d

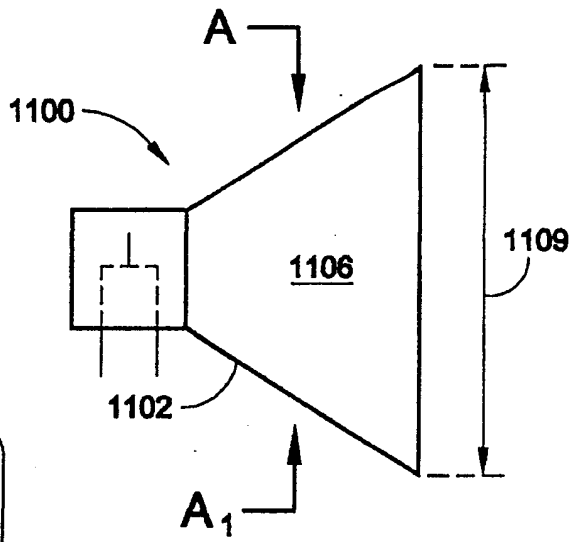


图 11a

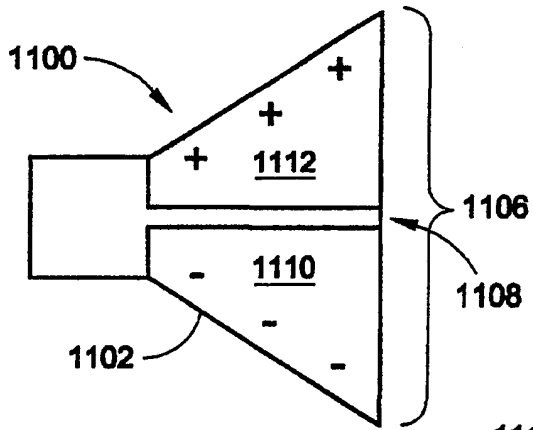


图 11b

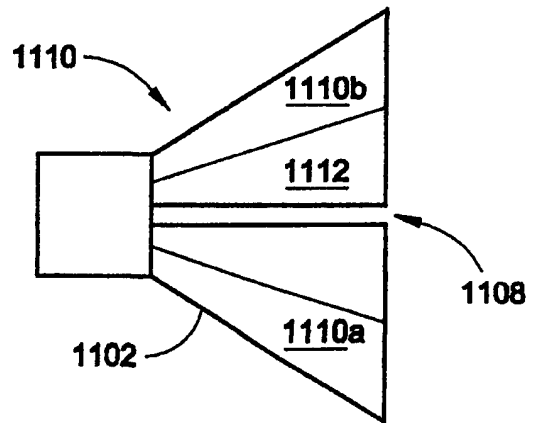


图 11c

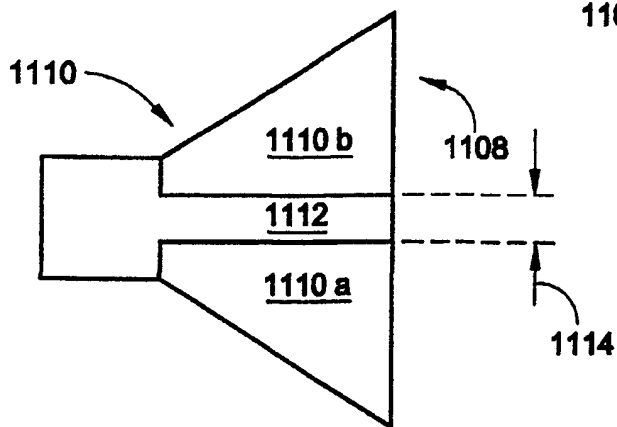


图 11d

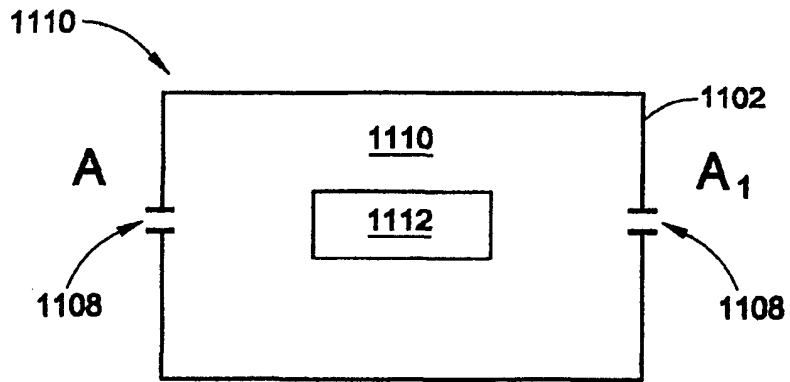


图 11e

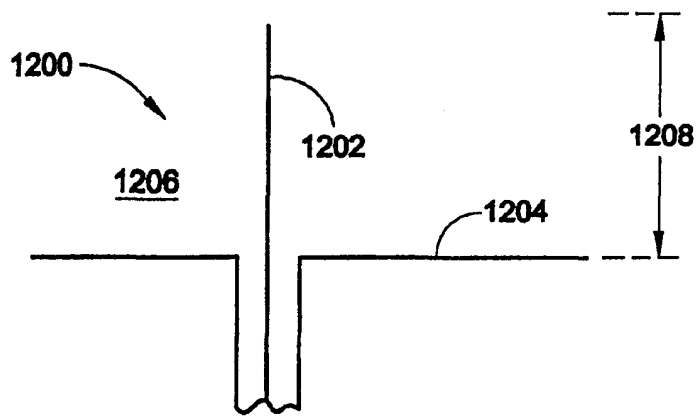


图 12a

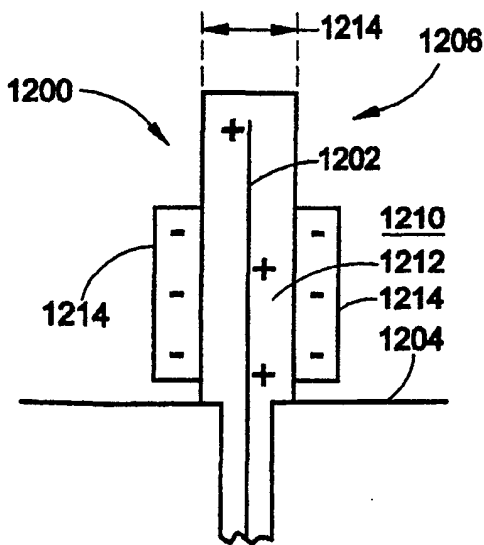


图 12b

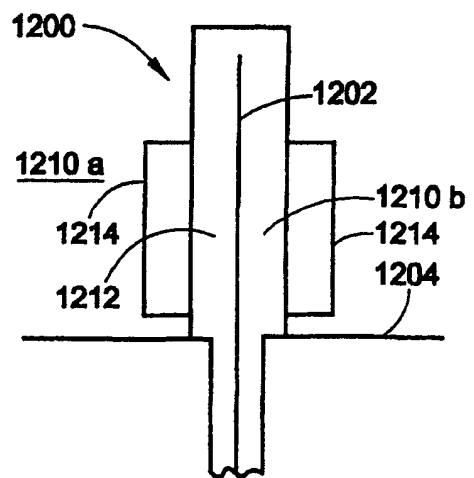


图 12c

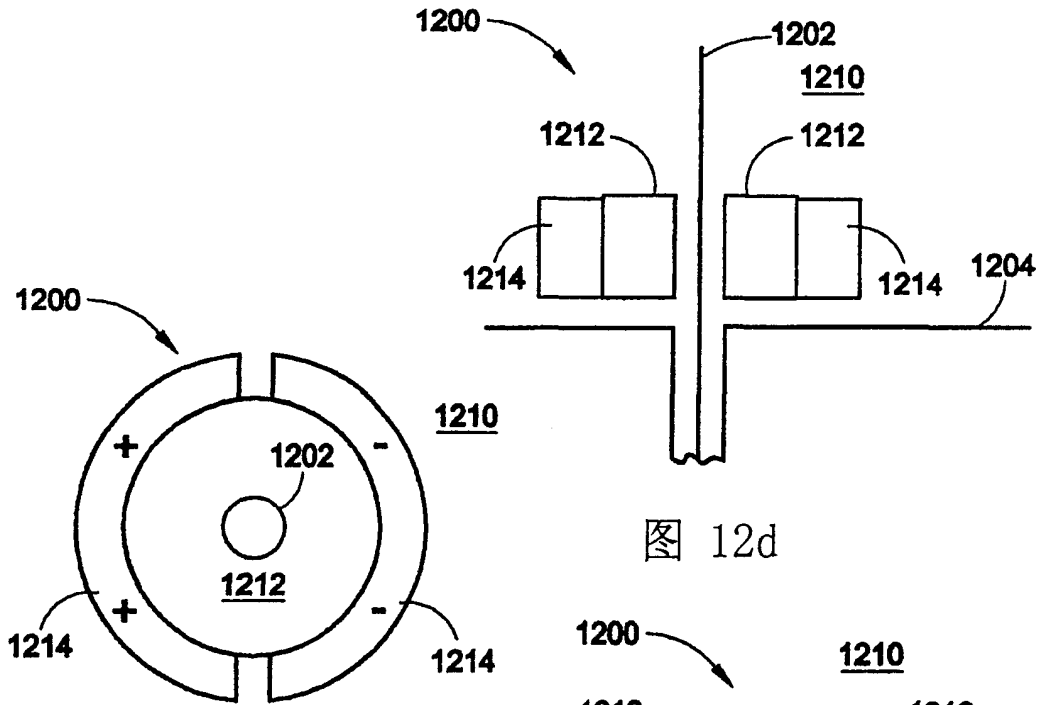


图 12d

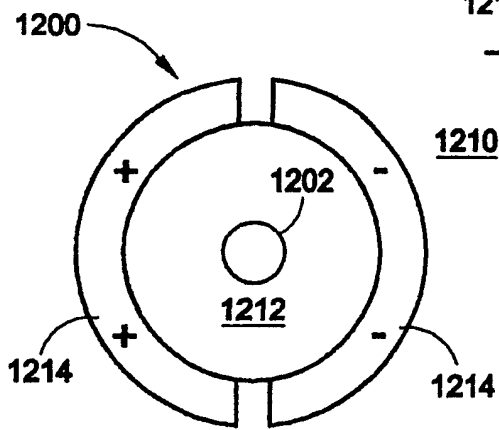


图 12e

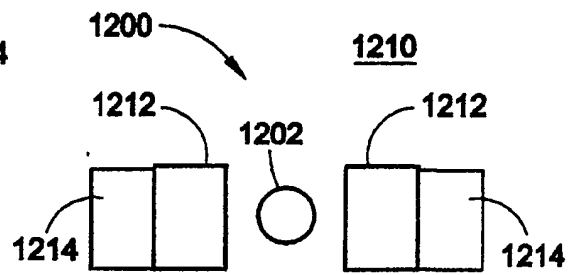


图 12f

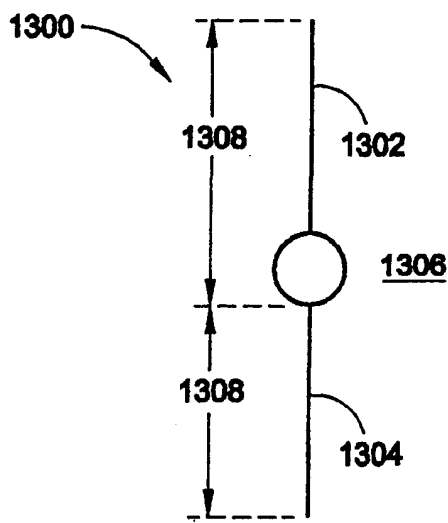


图 13a

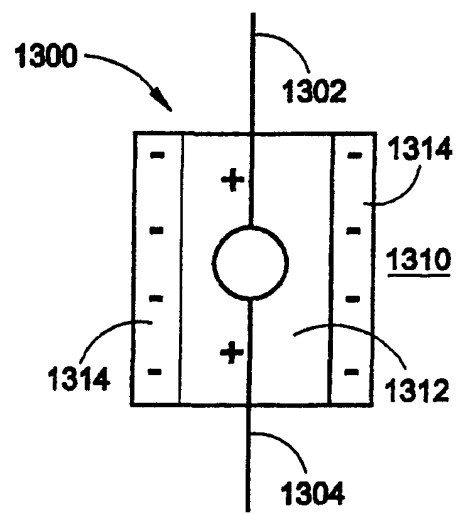


图 13b

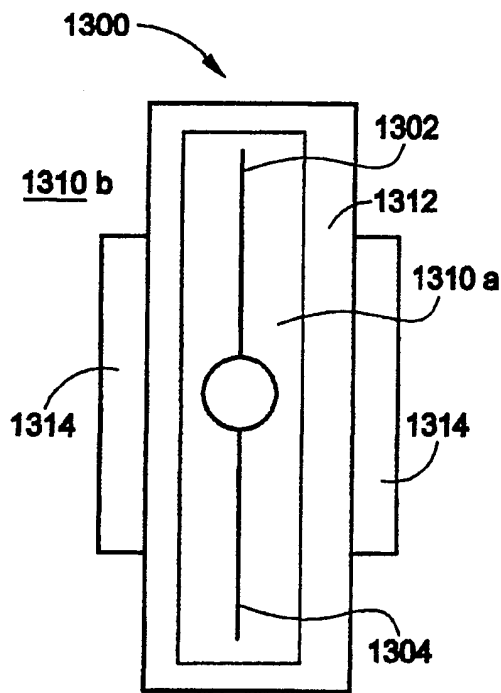


图 13c

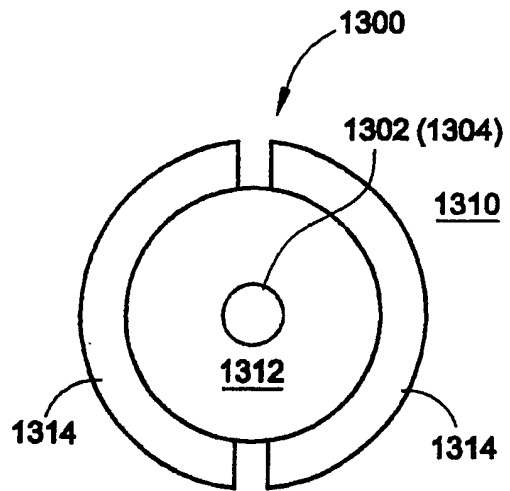


图 13e

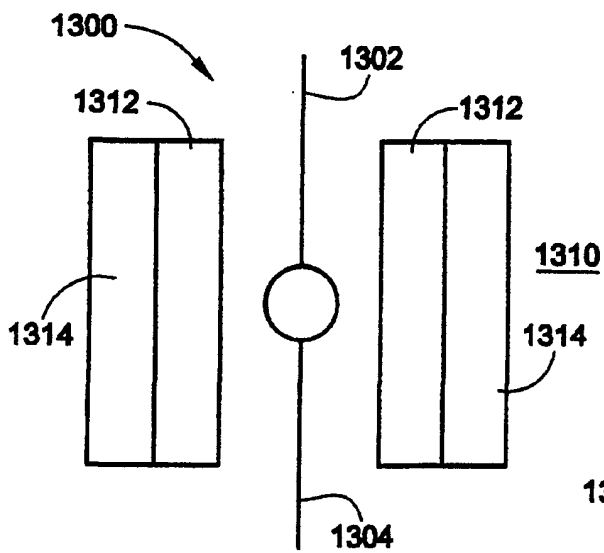


图 13d

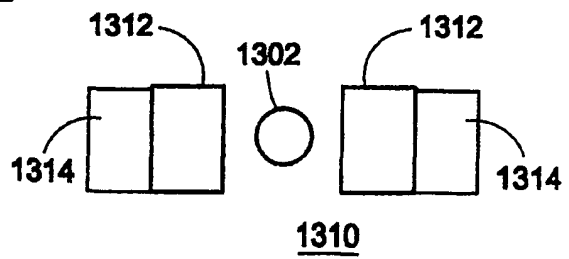


图 13f

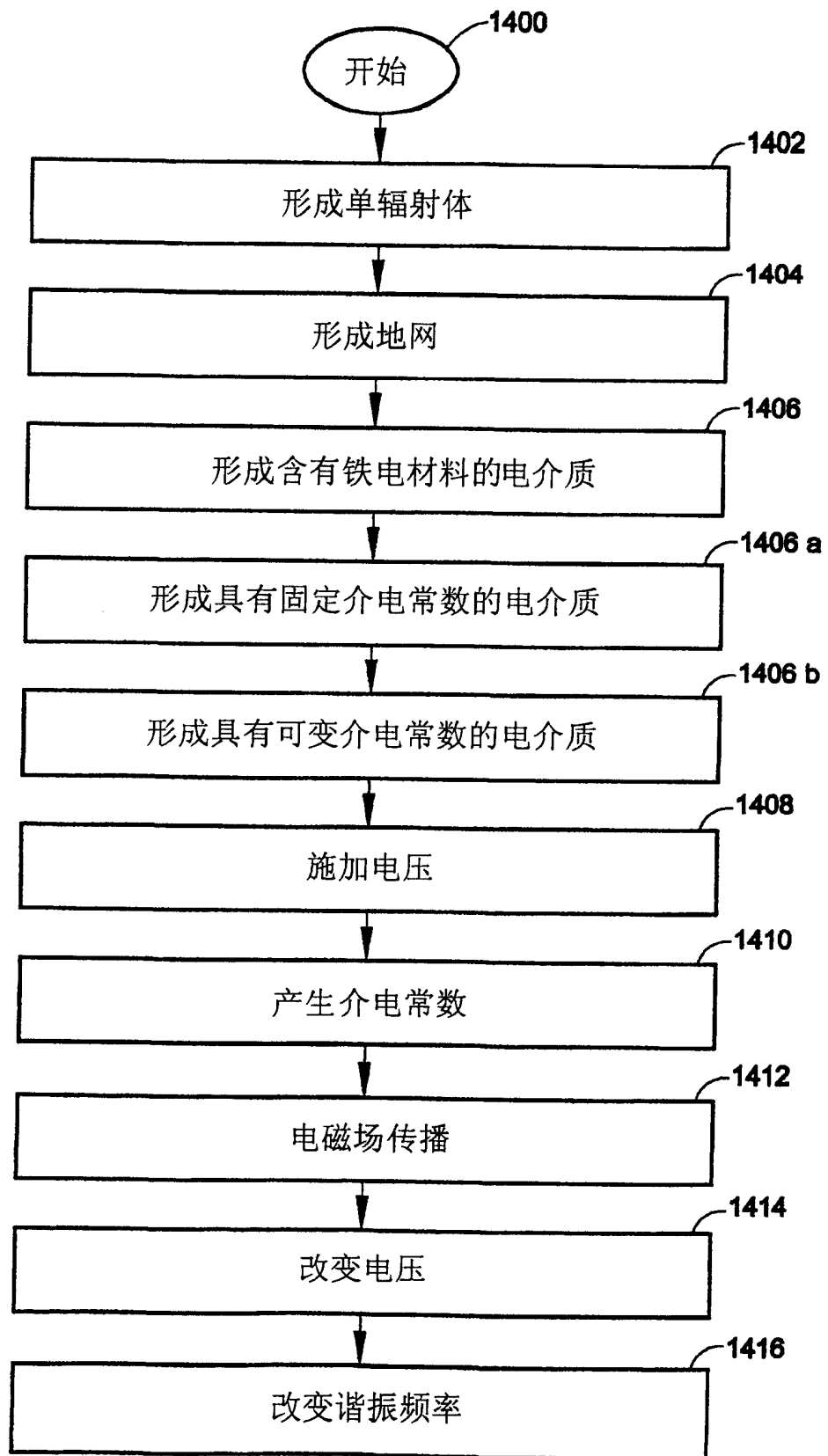


图 14

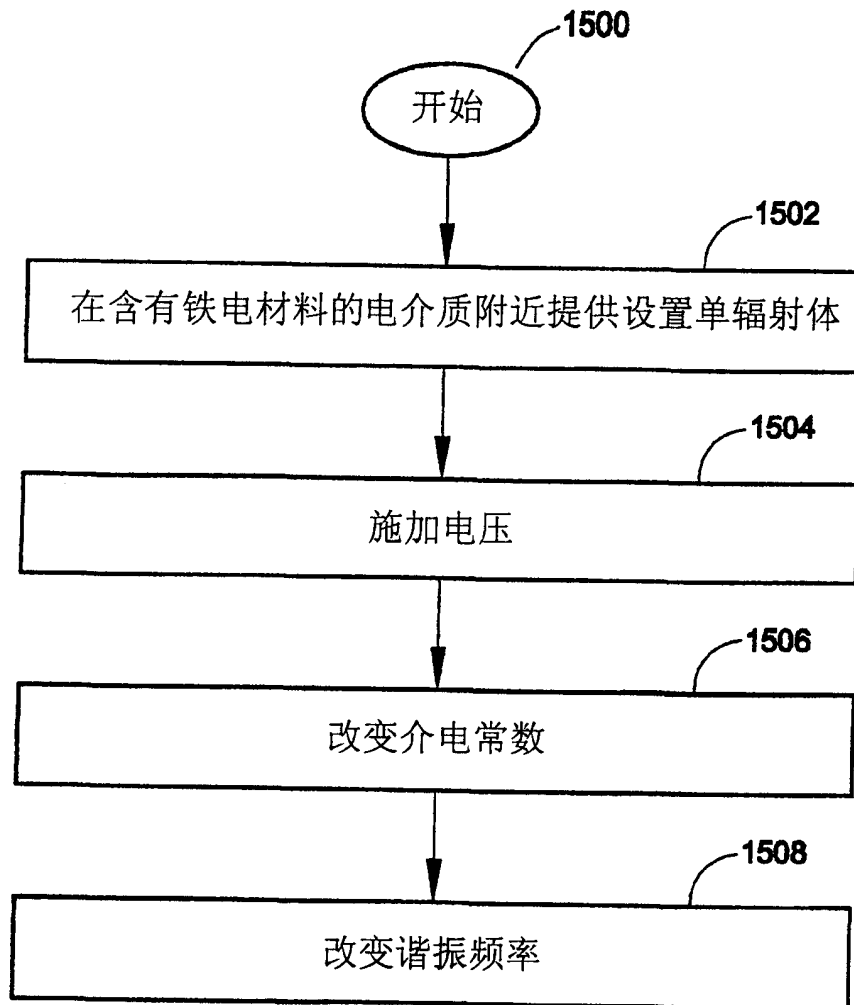


图 15