



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108140456 A

(43)申请公布日 2018.06.08

(21)申请号 201680058974.2

(22)申请日 2016.06.27

(30)优先权数据

14/823,997 2015.08.11 US

15/008,368 2016.01.27 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2018.04.09

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2016/039593 2016.06.27

(87)PCT国际申请的公布数据

W02017/027109 EN 2017.02.16

(71)申请人 是德科技股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 L·R·多弗 G·S·李

(74)专利代理机构 北京坤瑞律师事务所 11494

代理人 封新琴

(51)Int.Cl.

H01B 11/18(2006.01)

H01B 7/00(2006.01)

H01B 13/00(2006.01)

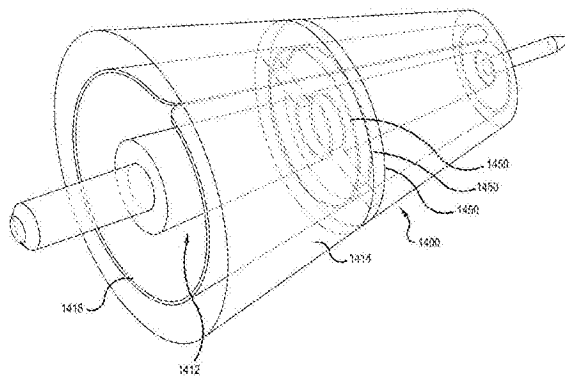
权利要求书2页 说明书16页 附图18页

(54)发明名称

用于同轴传输线的、包含锥形部和薄电阻层的电连接器

(57)摘要

公开了一种电连接器,其被配置为将一条信号传输线电联接到另一条信号传输线。该电连接器包括:第一电导体,其围绕中心轴线安置,该第一电导体沿其长度具有锥形部,其中该第一电导体围绕中心轴线大致方位角对称;第二电导体,其围绕中心轴线安置,该第二电导体沿其长度具有锥形部,该第二电导体围绕中心轴线大致方位角对称;电介质区域,其包含气体并且安置在第一电导体和第二电导体之间,该电介质区域沿其长度具有锥形部;以及电介质元件,其安置在第一电导体和第二电导体之间的电介质区域中,该电介质元件围绕中心轴线大致方位角对称。



1. 一种电连接器,其被配置为将一条信号传输线电联接到另一条信号传输线,所述电连接器包括:

第一电导体,其围绕中心轴线安置,所述第一电导体沿其长度具有锥形部,其中所述第一电导体围绕所述中心轴线大致方位角对称;

第二电导体,其围绕中心轴线安置,所述第二电导体沿其长度具有锥形部,所述第二电导体围绕所述中心轴线大致方位角对称;

电介质区域,其包含气体并且安置在所述第一电导体和所述第二电导体之间,所述电介质区域沿其长度具有锥形部;和

电介质元件,其安置在第一电导体和第二电导体之间的电介质区域中,所述电介质元件围绕所述中心轴线大致方位角对称。

2. 根据权利要求1所述的电连接器,其中,所述电介质元件是第一电介质元件,并且所述电连接器包括位于所述第一电导体和所述第二电导体之间的所述电介质区域中的第二电介质元件,所述第二电介质元件围绕所述中心轴线大致方位角对称。

3. 根据权利要求1所述的电连接器,还包括安置在第一电导体和第二电导体之间、在至少沿所述第一电导体和所述第二电导体各自长度的区域中的薄电阻层,在所述区域中,所述第一电导体和所述第二电导体具有更大的宽度。

4. 根据权利要求2所述的电连接器,其中,所述第一和第二电介质元件中的每一个中存在环。

5. 根据权利要求4所述的电连接器,其中,所述环围绕所述中心轴线大致方位角对称地安置。

6. 根据权利要求4所述的电连接器,其中,所述环包括第一和第二电介质元件中的每一个的减小厚度的区域。

7. 根据权利要求1所述的电连接器,其中,气体是空气。

8. 根据权利要求7所述的电连接器,其中,所述第一和第二电导体的所述大致方位角对称性以及所述第一和第二电介质元件的所述大致方位角对称性大致防止横向电磁(TEM)模式到高阶横向电(TE)模式或高阶横向磁(TM)模式的模式变换。

9. 根据权利要求4所述的电连接器,其中,所述第一电介质元件占据所述电介质区域的第一部分,所述第二电介质元件占据所述电介质区域的第二部分,并且所述气体存在于所述电介质区域的剩余部分中。

10. 根据权利要求4所述的电连接器,其中,所述第一电介质元件占据所述电介质区域的第一部分,所述第二电介质元件占据所述电介质区域的第二部分,并且所述空气存在于所述电介质区域的剩余部分中。

11. 根据权利要求1所述的电连接器,其中,所述锥形部具有的长度足以在所述电导体的最高工作频率下将所述第一电导体与所述第二电导体之间的偏斜维持为小于约25电角度。

12. 根据权利要求1所述的电连接器,其中,所述锥形部具有的长度足以在所述电导体的最高工作频率下将所述第一电导体与所述第二电导体之间的偏斜维持为小于约20电角度。

13. 根据权利要求12所述的电连接器,其中,所述以度为单位的偏斜( $\Delta \phi$ )约为:

$$\Delta \phi = 360 (f/v) [\sqrt{(L^2 + (a_2 - a_1)^2)} - \sqrt{(L^2 + (b_2 - b_1)^2)}]$$

其中f是以Hz为单位的频率,v是对应于所述电介质区域的相速度,L是所述锥形部的轴向长度,a<sub>1</sub>是所述第一电导体的外导体半径,b<sub>1</sub>是所述第一电导体的内导体半径,a<sub>2</sub>是所述第二电导体的外导体半径,并且b<sub>2</sub>是所述第二电导体的内导体半径。

14. 根据权利要求11所述的电连接器,其中,所述以度为单位的偏斜( $\Delta \phi$ )约为:

$$\Delta \phi = 360 (f/v) [\sqrt{(L^2 + (a_2 - a_1)^2)} - \sqrt{(L^2 + (b_2 - b_1)^2)}]$$

其中f是以Hz为单位的频率,v是对应于所述电介质区域的相速度,L是所述锥形部的轴向长度,a<sub>1</sub>是所述第一电导体的外导体半径,b<sub>1</sub>是所述第一电导体的内导体半径,a<sub>2</sub>是所述第二电导体的外导体半径,并且b<sub>2</sub>是所述第二电导体的内导体半径。

15. 根据权利要求1所述的电连接器,其中,所述第一电导体和所述第二电导体具有与各自的第二端相对的各自的第一端,并且所述第一端具有比所述各自的第二端更大的面积尺寸,在所述第一端与所述第二端之间产生锥形部。

16. 根据权利要求15所述的电连接器,其中,所述电介质元件具有与第二端相对的第一端,并且所述第一端具有比所述第二端更大的面积尺寸,在所述第一端与所述第二端之间产生锥形部。

17. 根据权利要求3所述的电连接器,其中,所述薄电阻层沿着所述锥形部的整个长度安置。

18. 根据权利要求3所述的电连接器,其中,所述薄电阻层是第一薄电阻层,并且所述电连接器还包括安置在所述第一电导体和所述第二电导体之间的第二电阻层。

19. 根据权利要求3所述的电连接器,其中,所述薄电阻层安置在所述电介质区域中,并且在所述第一电导体和所述第二电导体之间,所述薄电阻层对于大致横向电磁(TEM)传输模式大致透明同时使高阶传输模式大致完全衰减。

## 用于同轴传输线的、包含锥形部和薄电阻层的电连接器

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请是Dove等于2016年1月27日提交的标题为“Signal Transmission Line and Electrical Connector including Electrically Thin Resistive Layer and Associated Methods (包括薄电阻层的电连接器和信号传输线及相关方法)”的共同拥有的美国专利申请号15/008,368在37C.F.R. §1.53(b)下的部分继续申请。Dove等的美国专利申请号15/008,368是Dove等于2015年8月11日提交的标题为“Coaxial Transmission Line Including Electrically Thin Resistive Layer and Associated Methods (包括薄电阻层的同轴传输线及相关方法)”的共同拥有的美国专利申请号14/823,997在37C.F.R. 1.53(b)下的部分继续申请。本申请要求在35U.S.C. §120下对美国专利申请号15/008,368以及对美国专利申请号14/823,997的优先权,所述专利申请的公开内容由此通过提述以其整体并入。

### 背景技术

[0003] 信号传输线(“传输线”)在现代通信中无处不在。这些传输线从点到点传输电磁(EM)信号(‘信号’),并且采用包括带状线、微带线(“微带”)和同轴线(“同轴”)传输线等各种已知形式。

[0004] 对于这些传输线合意的是传播信号传播的单个本征模(“单模”)。多模式信号传播是有问题的,因为期望的传播模式和高阶模式可相互干扰,从而以不受控制的且通常不可解释的方式提供严重依赖于频率的接收信号。这类似于无线传播中众所周知的多路径问题,除非在这种情况下问题出现在“有线”设置中。在高带宽、高质量的信号环境中,多模式信号传播通常是不可接受的。

[0005] 因此,所需要的是一种传输线,该传输线可促进信号传播的所需TEM模式与较高阶模式的区分。

[0006] 附图简述

[0007] 当与附图一起阅读时,从以下详细描述中最好地理解实例性实施例。需要强调的是,各种特征不一定按比例绘制。事实上,为了讨论的清楚起见,尺寸可以任意增大或减小。在适用和实际的情况下,相同的附图标记指代相同的元件。

[0008] 图1是根据代表性实施例的同轴传输线的横截面图。

[0009] 图2是图1的代表性实施例的横截面图并且示出了TEM模式电场。

[0010] 图3是图1的代表性实施例的透视图。

[0011] 图4是根据代表性实施例的同轴传输线的横截面图。

[0012] 图5是根据代表性实施例的同轴传输线的侧视图。

[0013] 图6和图7是说明在代表性实施例中可以/不可以衰减的50欧姆同轴电缆的高阶模式的模式截止本征值的表格。

[0014] 图8是根据代表性实施例的传输线的横截面图。

[0015] 图9是根据代表性实施例的微带线(微带)传输线的横截面图。

- [0016] 图10是根据代表性实施例的微带传输线的横截面图。
- [0017] 图11是根据代表性实施例的带状线传输线的横截面图。
- [0018] 图12是根据代表性实施例的带状线传输线的横截面图。
- [0019] 图13A是根据代表性实施例的同轴传输线连接器的横截面图。
- [0020] 图13B和图13C是图13A的同轴传输线连接器的透视图。
- [0021] 图14A是根据代表性实施例的用于联接信号传输线的电连接器的透视图。
- [0022] 图14B包括用于联接图14A的信号传输线的电连接器的横截面图。
- [0023] 图14C是根据代表性实施例的用于联接信号传输线的另一电连接器的透视图。
- [0024] 图14D包括用于联接图14C的信号传输线的电连接器的横截面图。
- [0025] 图15A示出了根据代表性实施例的电连接器的方位角对称性。
- [0026] 图15B包括图15A中所示的电连接器的横截面图。
- [0027] 图16A是根据代表性实施例的用于联接信号传输线的开槽电连接器的透视图。
- [0028] 图16B是根据代表性实施例的用于联接信号传输线的无槽电连接器的透视图。
- [0029] 具体说明

[0030] 在下面的详细描述中,为了解释而非限制的目的,阐述了公开具体细节的实例实施例,以便提供对根据本教导的实施例的透彻理解。然而,对于受益于本公开的本领域普通技术人员而言显而易见的是,根据本教导的与本文公开的具体细节不同的其它实施例仍然在所附权利要求的范围内。此外,可以省略对众所周知的设备和方法的描述,以便不模糊实例实施例的描述。这些方法和装置显然在本教导的范围内。

[0031] 这里使用的术语仅用于描述特定实施例的目的,而不意在限制。所定义的术语除了本教导的技术领域中通常理解和接受的定义术语的技术和科学含义之外。

[0032] 除非另有说明,否则当第一元件(例如,信号传输线)被说成连接到第二元件(例如,另一个信号传输线)时,这涵盖其中可利用一个或多个中间元件(例如,电连接器)将两个元件彼此连接的情况。然而,当第一元件被说成直接连接到第二元件时,这仅涵盖两个元件彼此连接而没有任何中间件或中间装置的情况。类似地,当信号被说成联接到一个元件时,这涵盖可利用一个或多个中间元件将信号联接到该元件的情况。然而,当信号被说成直接联接到一个元件时,这只涵盖信号直接联接到该元件而没有任何中间件或中间装置的情况。

[0033] 如说明书和所附权利要求中所使用的,除非上下文另有明确说明,否则术语“一”、“一个”和“该”包括单数和复数指称对象。因此,例如,“装置”包括一个装置和多个装置。如在说明书和所附权利要求中所使用的,除了它们的普通含义之外,术语“基本”或“基本上/大致”意指在可接受的限制或程度内。如在说明书和所附权利要求中所使用的,除了其普通含义之外,术语“约”意指在本领域普通技术人员可接受的限制或量内。例如,“大致相同”意味着本领域的普通技术人员会认为被比较的项目是相同的。

[0034] 如附图所示,可使用相对术语如“在...之上”、“在...之下”、“顶部”、“底部”来描述各个元件彼此之间的关系。除了附图中描绘的取向之外,这些相对术语旨在涵盖其元件的不同取向。例如,如果附图中描绘的装置(例如,半导体封装)相对于附图中的视图倒置,则例如被描述为在另一元件“上方”的元件现在将在该元件“下方”。类似地,如果装置相对于附图中的视图旋转了90°,则被描述为在另一个元件“上方”或“下方”元件现在将与另一

元件“邻近”；其中“相邻”意指邻接另一个元件，或者在元件之间具有一个或多个层、材料、结构等。

[0035] 根据代表性实施例，信号传输线包括：第一电导体；第二电导体；电介质区域，其在第一电导体和第二电导体之间；以及薄电阻层，其安置在电介质区域内并安置在第一电导体和第二电导体之间。薄电阻层被配置为对于大致横向电磁 (TEM) 传输模式大致透明，但是使高阶传输模式大致完全衰减。

[0036] 如随着本说明书继续将变得更清楚，代表性实施例的传输线的最低阶 (和期望模式) 是“大致”TEM模式。为此，TEM模式是从麦克斯韦方程的解决方案推断的某种理想化。实际上，在任何非零频率下，由于传输线导体的不完善性质，“TEM模式”实际上与纯粹的横向电场具有很小的偏差。而且，在同轴传输线、带状线等中在较高频率下，电介质区域 (例如，包括如图9所描绘的第一和第二电介质层905、906) 中的不均匀性将导致散射 (dispersion) 和与“理想”TEM模式的行为 (其在技术上无散射) 的偏离。因此，术语“大致TEM”模式考虑到由于下面描述的代表性实施例的传输线的环境而导致与理想行为的偏离。

[0037] 首先结合包括同轴传输线 (或各种同轴电缆) 的代表性实施例来描述本教导。正如本说明书继续所理解的那样，同轴传输线的相对对称结构能够以相对直接的方式描述本教导的各种显著特征。然而，强调的是，本教导不限于包括同轴传输线的代表性实施例。相反，并且如下面更全面描述的，本发明的教导被设想用于其它类型的传输线，以包括具有相对于传输大致TEM模式的外部导体、带状线传输线和微带传输线几何偏移的内部导体的传输线。此外，本教导构想了用于实现传输线与电气装置或其它传输线 (例如，电连接器、适配器、衰减器等) 之间的连接的装置。举例来说，同轴传输线的末端可终止于同轴电连接器 (参见图13A-13C)，该同轴电连接器被设计为在连接上保持同轴形式并且具有与同轴传输线大致相同的阻抗以减少反射回同轴传输线。连接器通常镀有高导电金属，如银或防锈金。

[0038] 现在参照图1-3，现在将描述根据代表性实施例的同轴传输线10。例如，同轴传输线10在附图中显示为同轴电缆。同轴传输线10包括内部电导体12 (有时称为第一电导体)、外部电导体14 (有时称为第二电导体)、介于内部电导体12和外部电导体14之间的电介质区域16、以及在电介质区域16内并且与内部电导体12和外部电导体14同心的薄电阻层18。

[0039] 在代表性实施例中，薄电阻层18是连续的并且沿着同轴传输线10的长度延伸。薄电阻层的连续性对于本文中描述的其它代表性实施例的传输线是共同的。替代地，薄电阻层18以及其它代表性实施例的薄电阻层可以是不连续的，并且因此沿着特定传输线的长度具有间隙。

[0040] 内部电导体12具有与外部电导体14共同的传播轴线17。类似地，内部导体和外部电导体14共享共同几何中心 (例如，共同传播轴线17上的点)。而且，同轴传输线10的横截面大致是圆形的。通常，术语“同轴”意味着传输线的各个层/区域具有共同的传播轴线。同样，术语“同心”意指传输线的层/区域具有相同的几何中心。如本说明书继续将理解的，一些代表性实施例的传输线是同轴的并且是同心的，而在其它代表性实施例中，传输线不是同心的。最后，代表性实施例的传输线不限于那些圆形横截面。更确实地说，可以构想具有其它横截面的传输线，包括但不限于矩形和椭圆形横截面。

[0041] 如本领域技术人员可理解的，内部电导体12和外部电导体14可为任何合适的电导体，例如铜线、或其它金属、金属合金或非金属电导体。预期用于电介质区域16的电介质材

料或层包括但不限于玻璃纤维材料,塑料如聚四氟乙烯(PTFE),具有减小的损耗角正切(例如 $10^{-2}$ )的低k电介质材料、陶瓷材料、液晶聚合物(LCP)或任何其它合适的电介质材料(包括空气),及其组合。保护套可包括保护性塑料涂层或其它合适的保护材料,并且优选为非导电绝缘套。在下面描述的代表性实施例中,电介质区域16可以包括一个或多个电介质层。值得注意的是,各种代表性实施例中描述的电介质层的数量通常是说明性的,并且可涵盖更多(多于一个)或更少的层。然而,通常各种电介质层的电介质常数大致相同以大致传播TEM传播模式。

[0042] 同轴传输线10与用于承载较低频率信号(如音频信号)的其它屏蔽电缆的不同之处在于,同轴传输线10的尺寸被控制以在内部电导体12和外部电导体14之间提供大致精确的、大致恒定的间距。

[0043] 同轴传输线10通常用作射频信号的传输线。同轴传输线10的应用包括将无线电发射机和接收机与其天线、计算机网络(因特网)连接部连接并且分配有线电视信号的馈线(feedlines)。在射频应用中,电信号和磁信号主要以大致横向电磁(TEM)模式传播,该模式是由传输线传播的单个期望模式。在大致TEM模式中,电场和磁场都大致垂直于传播方向。然而,在某个截止频率以上,横向电(TE)或横向磁(TM)模式或两者也可传播,就像在波导中那样。在截止频率以上传输信号通常是不理想的,因为它可能导致具有不同相速度的多个模式传播,相互干扰。内部电导体12与外部电导体14的内部之间的圆周的平均值与截止频率大致成反比。

[0044] 如图2和图3所示,薄电阻层18是电阻层,其经选择和配置(如下所述)成对于大致横向电磁(TEM)传输模式是大致透明的,而大致完全衰减更高阶传输模式。通常,大致完全衰减意指同轴传输线10或根据本文所述的代表性实施方案的其它传输线被设计为适应期望的大致TEM模式和不期望的更高阶模式之间的相对衰减的预定阈值。可以理解的是,除了其它设计考虑之外,通过选择适当的厚度(例如,经由下文所述的趋肤深度)和薄电阻层18的电阻率来实现该预定阈值。例如,在高达 $10^2$ GHz的RF频率是相关的并且传输长度约为 $10^1$ cm的阶的应用中,相对衰减的阈值要求TEM衰减常数为约 $0.1\text{m}^{-1}$ ,但是可涵盖大于约 $100\text{m}^{-1}$ 、和有用地超过约 $1000\text{m}^{-1}$ 的高阶模式的衰减。另一方面,在最高工作频率为仅几GHz(或更低)并且传输长度为几十米的应用中,相对衰减的阈值要求约 $0\text{m}^{-1}$ 至约 $0.01\text{m}^{-1}$ 的TEM衰减常数,同时涵盖使高阶模式衰减至少约 $1.0\text{m}^{-1}$ 但有用地超过约 $10\text{m}^{-1}$ 。要强调的是,这些实例仅仅是说明性的,并非旨在限制本教导。

[0045] 如本文所使用的,“电薄”层是在感兴趣的(最高)信号频率下层厚小于趋肤深度 $\delta$ 的层。这确保了大致TEM模式被最小程度地吸收。趋肤深度由 $\delta = 1/\sqrt{(\pi f\mu\sigma)}$ 给出,其中 $\delta$ 以米表示, $f$ 是以Hz表示的频率, $\mu$ 是以亨利/米表示的层的磁导率, $\sigma$ 是以西门子/米表示的层的电导率。

[0046] 因此,对于本文的讨论,如果 $t$ 是薄电阻层18的物理厚度,则如果 $t < \delta_{\min} = 1/\sqrt{(\pi f_{\max}\mu\sigma)}$ 它是“电薄层的”,其中 $\delta_{\min}$ 是以最大频率 $f_{\max}$ 计算的趋肤深度。例如,假设 $f_{\max} = 200\text{GHz}$ ,则该层是非磁性的,因此 $\mu = \mu_0 = \text{真空磁导率} = 4\pi \times 10^{-7}$ 亨利/米,并且电导率为 $100$ 西门子/米。那么 $\delta_{\min} = 112.5\mu\text{m}$ ,所以在这种情况下, $25\mu\text{m}$ 的电阻层厚度 $t$ 会被认为是电薄层的。总之,当薄电阻层18的厚度小于在同轴传输线10的最大工作频率下的趋肤深度时,薄电阻层18是电薄层的。

[0047] 电介质区域16可包括在内部电导体12和薄电阻层18之间的内部电介质材料20以及在薄电阻层18和外部电导体14之间的外部电介质材料22。在多个实施方案中,内部电介质材料20和外部电介质材料22具有大致相同的厚度。在一些实施方案中,内部电介质材料20的厚度是外部电介质材料22的厚度的约两倍。

[0048] 薄电阻层18可以是内部电介质材料20上的薄电阻涂层。用作说明地,薄电阻层18包括TaN、WSiN、电阻负载的聚酰亚胺、石墨、石墨烯、过渡金属二硫属元素化物(TMDC)、镍铬合金(NiCr)、镍磷(NiP)、氧化铟和氧化锡。然而,值得注意的是,受益于本教导的本领域普通技术人员的范围内的其它材料被考虑用作薄电阻层18。

[0049] 过渡金属二硫属元素化物(TMDCs)包括:HfSe<sub>2</sub>、HfS<sub>2</sub>、SnS<sub>2</sub>、ZrS<sub>2</sub>、MoS<sub>2</sub>、MoSe<sub>2</sub>、MoTe<sub>2</sub>、WS<sub>2</sub>、WSe<sub>2</sub>、WTe<sub>2</sub>、ReS<sub>2</sub>、ReSe<sub>2</sub>、SnSe<sub>2</sub>、SnTe<sub>2</sub>、TaS<sub>2</sub>、TaSe<sub>2</sub>、MoSSe、WSSe、MoWS<sub>2</sub>、MoWSe<sub>2</sub>、PbSnS<sub>2</sub>。硫属家族包括第VI族元素S、Se和Te。

[0050] 薄电阻层18可具有20-2500欧姆/平方之间,优选20-200欧姆/平方之间的薄层电阻。

[0051] 参考图4,描述同轴传输线10'的另一个实施方案。在该实施方案中,附加的薄电阻层19被包括在电介质区域内并且与内部电导体12和外部电导体14同心。在这样的实施方案中,电介质区域包括内部电介质材料20、中间电介质材料23和外部电介质材料24。这种电介质材料可包括相同或不同的材料。基于期望的衰减特性可以包括多个薄电阻层。

[0052] 添加第二个薄电阻层(也许为外部电导体14的2/3)可被更好地定位以衰减一些更高阶的模式,并且在多个间断点或者匹配不良的负载存在下可为有益的。允许电缆多次弯曲也可为有用的。因此,可期望在薄电阻层18和外部电导体14之间包括附加薄电阻层19。然而,额外的薄电阻层19的益处必须针对可能的缺点来权衡,附加薄电阻层19可为主要的大致TEM模式添加一些插入损耗。

[0053] 另外参考图5,描述了另一个实施方案。在此,内部电导体12、外部电导体14和电介质区域16限定同轴电缆30的长度,在该同轴电缆30的相对端处具有同轴连接器32、34。薄电阻层18在同轴电缆30的整个长度内并且在同轴连接器32、34内延伸。

[0054] 而且,在其它实施方案中,内部电导体12、外部电导体14和电介质区域16可限定一定长度的微同轴传输线。

[0055] 已经阐述了以上实例性实施方案的多种结构,现在将讨论特征、优点和分析。实例性实施方案涉及同轴传输线10、10',例如同轴电缆30,其中同心薄电阻层18夹在绝缘(电介质)区域16内的某处,该绝缘(电介质)区域16将内部电导体12和外部电导体14分离。即,除了由具有高导电率的金属制成的典型的内部和外部电导体12/14之外,我们现在具有由薄(在这种情况下是圆柱形)电阻层18隔开的内部电介质和外部电介质。所有区域、内部电导体12、内部电介质材料20、薄(圆柱形)电阻层18、外部电介质材料22和外部电导体14是同心的。术语同轴和/或同心意指层/区域具有相同的轴线/中心。这不限于任何特定的横截面。这里涵盖了圆形、矩形和其它横截面。举例来说,内导体和外导体可具有其它横截面形状,如矩形(下面描述)。替代地,内导体和外导体可具有不同的横截面形状(例如,内导体的横截面可为圆形的,而外导体的横截面可为矩形的)。不管内导体和外导体的形状如何,薄电阻层都被选择为具有这样的形状,使得大致TEM模式的电场线在每个入射点是大致垂直的(即,大致平行于薄电阻层的法线),并且对于大致TEM传输模式是透明的大致透明的,而使高阶传



输模式显著衰减。

[0056] 如在传统的同轴电缆中,所需的大致横向的电磁(TEM)的特征在于无论何处大致径向指向的电场,如图2所示。所有更高阶的模式,不管横向电(TE)还是横向磁(TM),都未能具有该特征。

[0057] 特别是,所有TM模式都具有强的纵向(沿轴线)电场分量。这些纵向电矢量会在阻性圆柱体中产生轴向RF电流,从而导致TM模式的高欧姆耗散。相反地,TE模式具有明显的方位角(即,绕轴线的顺时针或逆时针定向)电场矢量,这又产生电阻圆柱体中的局部方位电流。再一次,由于薄电阻片1418不是良好的电导体,所以有利地产生了TE模式的高欧姆耗散。

[0058] 另一方面,大致TEM模式由于薄电阻圆柱体不允许径向电流流动而承受很小的欧姆耗散。

[0059] 本教导的实施方案的优点是实现用于在更高频率下使用的内电导体1412和外电导体1414的相对较大的尺寸。由于减小的电流拥挤,这导致对于期望的宽带大致TEM模式较小的导电损失。它还允许潜在地使用更坚固的连接器和更坚固的电缆本身达到给定的最大TEM频率。与波导技术相反,本实施方案仍然是真正的宽带(DC到甚高频,例如毫米波或亚毫米波)导管。

[0060] 在实践中,业界喜欢以毫米波频率处理50欧姆电缆。常用电介质PTFE具有约1.9的相对电介质常数,确切的值取决于PTFE的类型和频率,但对于本讨论而言这足够接近。对于常规同轴电缆30中的这种电介质值,外部电导体1314ID与内部电导体120D的比率=3.154以实现50 $\Omega$ 特性阻抗。

[0061] 现在讨论实际的频率扩展目标的实例。1.85毫米电缆是高达~73GHz的单模。例如,将这个频率扩展几乎三倍到220GHz会是非常有用的。相关的计算是鉴定73GHz和220GHz之间有多少TE和TM模式以及哪些TE和TM模式必须通过电阻圆柱形片衰减。

[0062] 进行这种计算的一个简单方法是计算高阶模式的无量纲本征值 $k_c a$ ,其中 $k_c$ 是截止波数= $2\pi/\lambda_c$ , $2a$ 是外部导体1314ID。这里 $\lambda_c$ 是自由空间截止波长= $c/f_c$ ,其中 $f_c$ 是截止频率且 $c$ 是光在真空中的速度。最低的本征值对应于第一高阶模式的~73GHz截止频率,这恰好是TE<sub>11</sub>模式。在最低本征值3的因子内的任何本征值指示应该被衰减的模式。大于最低本征值3倍因子的本征值对应于即使在220GHz也仍处于截止的模式。

[0063] 使用无量纲本征值的原因在于,相同的推理可缩放到其它情况。例如,可为期望的是将其为单模的1-mm电缆的工作频率扩展到~120GHz,到~360GHz。最低本征值对应于1-mm电缆中TE<sub>11</sub>模式的~120GHz截止频率。

[0064] 图6和图7中的表分别显示TE和TM模式的说明。在图6中,示出了用于50欧姆特氟隆填充的同轴电缆的TE模式的本征值,TE<sub>11</sub>、TE<sub>12</sub>和TE<sub>13</sub>的本征值对应于应该衰减的模式。除接近该实例中的任意“三倍第一截止频率”规则的TE<sub>10</sub>外,其它本征值仍处于截止模式。换句话说,TE<sub>10</sub>在220GHz时仍然几乎不截止,所以如果最大工作频率需要被推高一点,那么这里的电阻衰减可为需要的。

[0065] 图7的表格示出了用于50欧姆特氟隆填充的同轴电缆的TM模式的本征值,并且可看出仅有少数模式涉及电阻衰减。有利地,可以选择阻性圆柱体的片电阻和半径以使大致TEM模式最低限度地衰减,而使高阶模式(例如,TE<sub>11</sub>模式)最大程度地衰减。

[0066] 设 $r$ 为阻性圆柱体的半径。为了保持讨论的一般性(与仅应对1.85-mm电缆相反),设计者可磨练片电阻和无量纲比率 $a/r$ ,其中 $2a$ 是外部电导体14的内径 $ID$ 。在约 $20\ \Omega/\text{sq}$ 至约 $200\ \Omega/\text{sq}$ 的范围内的片电阻和在约1.2至约2.4的范围内的 $a/r$ 值是有效的。电阻圆柱体可大致位于内部电导体12和外部电导体14之间的中间。

[0067] 构建几何结构的方式的实例是在内部电介质材料20周围卷绕薄电阻片1418,内部电导体12已经在其核心内部。然后,外部电介质材料22可滑过该部分组件。最后,外部电导体14可以在外侧上滑动。

[0068] 石墨/石墨烯、 $\text{MoS}_2$ 、 $\text{WS}_2$ 和 $\text{MoSe}_2$ 以润滑剂形式提供,这可导致替代的构建方法。内部电介质材料20(例如,圆柱体)可用期望的电阻润滑剂润滑。取决于润滑剂的电阻率,选择润滑涂层厚度以产生期望的片电阻。然后将外部电介质材料22(例如,最初包括两个半圆柱体)围绕经润滑的内部电介质材料20进行夹壳。最后,将外部电导体14滑过外部电介质材料22。通过适贴配合,外部电导体14(例如,圆柱体)会将半壳保持就位,因此甚至可能不需要粘合剂。

[0069] 本教导的实施方案的变型是仅在同轴电缆的“扰动”长度中提供薄电阻层18。也就是说,在同轴延伸的真正笔直段中,所有模式都是正交的,因此它们不会相互联接。只有在理想的同轴电缆受到扰动的地方,例如在连接器和在弯曲部处,模式会因其教科书分布而变形,并且发生交叉联接。因此,另一种策略是仅在连接器中/附近和预弯曲区域中包括薄电阻层18,并且建议电缆用户避免使可省略薄电阻层18的指定的笔直段弯曲。该方法具有减小或最小化大致TEM模式的衰减的优点,这对于长电缆或在大致TEM模式的趋肤深度接近电阻片1418的厚度的非常高的频率下可为特别重要的。

[0070] 图8是根据代表性实施方案的传输线800的横截面图。传输线800的许多方面和细节相对于上面结合图1-7的代表性实施例描述的传输线是共同的,并可不被重复以避免模糊目前描述的代表性实施方案。

[0071] 传输线800包括:第一电导体801,其起信号线作用;和第二电导体802,其安置在第一电导体801周围,起到接地平面的作用。薄电阻层803安置在电介质区域804中以及在第一电导体801和第二电导体802之间。值得注意的是,电介质区域804包括上述一种或多种电介质材料。如果在电介质区域804中使用多于一种的材料,则它们的电介质常数大致相同。

[0072] 传输线800示出了上面提到的且由本教导涵盖的某些特征。值得注意的是,这些特征中的一些可为预先决定的,本教导涵盖了最终结构。作为外部电导体的第二电导体802的横截面既非圆形也非椭圆形。相反,第二电导体802为大致矩形的。替代地,第二电导体802可具有其它横截面形状,如正方形或多边形。可理解的是,第二电导体802的横截面形状等等决定传播的单模,在这种情况下是大致TEM模式,并且因此决定电场线的取向。薄电阻层803具有如下形状:该形状经选择使得大致TEM模式的电场线805垂直地(或平行于薄电阻层的表面的法线)入射于其上。如在上面结合图1-7所描述的代表性实施方案中,薄电阻层803被配置成对大致横向电磁(TEM)传输模式是大致透明的,而使高阶传输模式大致完全衰减。

[0073] 第一电导体801相对于第二电导体802偏移,因此不共享共同几何中心。这仅仅是说明性的,并且如上所述,涵盖其它(例如,第一和第二电导体801、802共享共同几何中心)。而且,用作说明地,第一电导体801具有大致矩形横截面。这也不是必需的,并且第一电导体801可具有其它横截面形状,如圆形或椭圆形。如从本教导可理解的,传输线的各种组件的

形状选择影响了大致TEM模式的电场线的取向。选择薄电阻层803具有的形状使得大致TEM模式的电场线在每个入射点处大致垂直(即,大致平行于薄电阻层的法线),并且对于大致TEM传输模式是大致透明的,而使高阶传输模式大致衰减。

[0074] 图9是根据代表性实施方案的传输线900的横截面图。传输线900的许多方面和细节对于结合上面图1-8的代表性实施例描述的传输线是共同的,并可不被重复以避免模糊目前描述的代表性实施方案。

[0075] 用作说明地,传输线900为微带传输线,其包括第一电导体901(即,信号导体)、安置在第一电导体901下方的第二电导体902(即,接地导体)。薄电阻层903安置在基板904中,该基板904包括第一电介质层905和第二电介质层906。基板904上安置有覆板907。第一和第二电介质层905、906具有电介质常数 $\epsilon_{r2}$ 和 $\epsilon_{r3}$ ,而覆盖层907具有小于或等于基板904的电介质常数 $\epsilon_{r1}$ 。举例来说, $\epsilon_{r2}$ 与 $\epsilon_{r3}$ 大致相同。

[0076] 第一电导体901的二等分面908也平分了薄电阻层903。最强烈的电场出现在二等分面908中,因此,薄电阻层903垂直于二等分面908是有用的。而且,为了潜在干扰高阶模式的最有效的衰减,薄电阻层903最好关于二等分面908对称地定位。

[0077] 选择薄电阻层903具有的形状和取向,使得期望的大致TEM模式的电场线(未示出)在每个入射点处大致垂直(即,平行于薄电阻层的法线)并且对于大致TEM传输模式是大致透明的,而使高阶传输模式大致衰减。

[0078] 图10是根据代表性实施方案的传输线1000的横截面图。传输线1000的许多方面和细节相对于上面结合图1-9的代表性实施方案描述的传输线是共同的,并可不被重复以避免模糊目前描述的代表性实施方案。

[0079] 用作说明地,传输线1000为微带传输线,其包括第一电导体1001(即,信号导体)、安置在第一电导体1001下方的第二电导体1002(即,接地导体)。薄电阻层1003安置在基板1004中,该基板1004包括第一电介质层1005和第二电介质层1006。基板1004上安置有覆板1007。第一和第二电介质层1005、1006具有电介质常数 $\epsilon_{r2}$ 和 $\epsilon_{r3}$ ,而覆盖层1007具有小于或等于基板1004的电介质常数 $\epsilon_{r1}$ 。举例来说, $\epsilon_{r2}$ 与 $\epsilon_{r3}$ 大致相同。

[0080] 选择薄电阻层1003具有的形状和取向,使得大致TEM模式的电场线(未示出)在每个入射点处大致垂直(即,大致平行于薄电阻层的法线)并且对于大致TEM传输模式是大致透明的,而使高阶传输模式大致衰减。值得注意的是,不同于薄电阻层903,薄电阻层1003被弯曲以沿着大致TEM模式的磁场线轮廓一直到基板1004和覆板1007之间的界面。如本领域的普通技术人员会理解的,在大致TEM模式中,电场线和磁场线大致相互垂直,并且它们的叉积矢量(即,坡印亭矢量)指向传播方向。因此,如果电阻片遵循磁场轮廓,则它自动地在任何地方垂直于电场。

[0081] 由于相对于高阶模式的B场线定向的薄电阻层1003,传输线1000的一个益处是其较高阶模式的较大阻尼。

[0082] 图11是根据代表性实施方案的传输线1100的横截面图。传输线1100的许多方面和细节相对于上面结合图1-10的代表性实施方案描述的传输线是共同的,并可不被重复以避免模糊目前描述的代表性实施方案。

[0083] 用作说明地,传输线1100为带状线传输线,其包括第一电导体1101(即,信号导体)、安置在第一电导体1101下方的第二电导体1102(即,下接地导体)、以及第三电导体

1103 (即,上接地导体)。如已知的,可使用地对地通孔(未示出)来确保第二和第三电导体1102、1103维持在相同的电位。

[0084] 第一薄电阻层1104安置在基板1105中第一电导体1101下方,该基板1105包括第一电介质层1106和第二电介质层1107。第二薄电阻层1108安置在覆板1109中第一电导体1101上方,该覆板1109包括第三电介质层1110和第四电介质层1111。第一至第四电介质层1106、1107、1110、1111分别具有电介质常数 $\epsilon_{r1}$ 、 $\epsilon_{r2}$ 、 $\epsilon_{r3}$ 和 $\epsilon_{r4}$ 。

[0085] 根据代表性实施方案,第一至第四电介质层1106、1107、1110、1111的电介质常数大致相同,因此最低阶传播模式是大致TEM。

[0086] 选择第一和第二薄电阻层1104、1108具有的形状和取向,使得大致TEM模式的电场线(未示出)在每个入射点处大致垂直(即,大致平行于薄电阻层的法线),并且对于大致TEM传输模式是大致透明的,而使高阶传输模式大致衰减。

[0087] 图12是根据代表性实施方案的传输线1200的横截面图。传输线1200的许多方面和细节相对于上面结合图1-11的代表性实施方案描述的传输线是共同的,并可不被重复以避免模糊目前描述的代表性实施方案。

[0088] 用作说明地,传输线1200为带状线传输线,其包括第一电导体1201(即,信号导体)、安置成与第一电导体1201相邻的第二电导体1202(即,第一共面接地导体)、以及第三电导体1203(即,第二共面接地导体)。

[0089] 第四电导体1204(即,下接地导体)安置在第一电导体1201下方,并且第五电导体1205(即,上接地导体)安置在第一电导体1201上方。如上所指出的,可使用地对地通孔(未示出)来确保第二至第五电导体1202~1205维持在相同的电位。

[0090] 第一薄电阻层1206安置在基板1207中第一电导体1201下方,该基板1207包括第一电介质层1208和第二电介质层1209。第二薄电阻层1210安置在覆板1211中第一电导体1201上方,该覆板1211包括第三电介质层1212和第四电介质层1213。第一~第四电介质层1208、1209、1212、1213分别具有电介质常数 $\epsilon_{r1}$ 、 $\epsilon_{r2}$ 、 $\epsilon_{r3}$ 和 $\epsilon_{r2}$ 。

[0091] 根据代表性实施方案,第一~第四电介质层1208、1209、1212、1213的电介质常数大致相同,因此最低阶传播模式是大致TEM。

[0092] 选择第一和第二薄电阻层1206、1210具有的形状和取向,使得大致TEM模式的电场线(未示出)在每个入射点处大致垂直(即,大致平行于薄电阻层的法线),并且对于大致TEM传输模式是大致透明的,而使高阶传输模式大致衰减。

[0093] 图13A和图13B以及图13C分别描绘了根据代表性实施方案的电连接器1300的截面图和透视图,现在将对代表性实施方案进行描述。值得注意的是,上述代表性实施方案的传输线的许多方面和细节对于电连接器1300是共同的。在目前描述的代表性实施方案中,这些共同的方面和细节通常不被重复。

[0094] 例如,电连接器1300在附图中被显示为同轴电连接器。要强调的是,本教导涵盖了其它电连接器。

[0095] 在目前描述的代表性实施方案中,电连接器是阴阳型连接器,包括阳型端1310和阴型端1311。如本领域普通技术人员会认识到的,本教导的电连接器的所有方面通过目前描述的代表性实施方案来提供。这样,被配置成终止信号传输线的阳型连接器可通过阳型端1310的直接适配而形成;且被配置成终止信号传输线的阴型连接器可通过阴型端1311的

直接适配来形成。

[0096] 电连接器1300包括内部电导体1312(有时被称为第一电导体)、外部电导体1314(有时被称为第二电导体)、在内部电导体1312和外部电导体1314之间的电介质区域1316、以及在电介质区域1316内与内部电导体1312和外部电导体1314同心的薄电阻层1318。如图13A所示,内部电导体1312终止于阳型端1310上的阳型导体1322中,以及阴型端1311上的阴型导体1323中。

[0097] 在代表性实施方案中,薄电阻层1318是连续的并且沿着电连接器1300的长度延伸。薄电阻层的连续性对于本文中描述的其它代表性实施方案的传输线是共同的。替代地,薄电阻层1318以及其它代表性实施方案的薄电阻层可为不连续的,并且由此沿着特定传输线的长度具有间隙。

[0098] 内部电导体1312具有与外部电导体1314共同的传播轴线1317。类似地,内部导体和外部电导体1314共享共同几何中心(例如,共同传播轴线1317上的点)。而且,电连接器1300的横截面大致是圆形的。通常,术语“同轴”意指传输线的各个层/区域具有共同的传播轴。同样,术语“同心”意指传输线的层/区域具有相同的几何中心。如随着本说明书继续会理解的,一些代表性实施方案的传输线是同轴的并且是同心的,而在其它代表性实施方案中,传输线不是同心的。最后,代表性实施方案的传输线不限于那些圆形横截面。相反,可涵盖具有其它横截面的传输线,包括但不限于矩形和椭圆形横截面。

[0099] 如图13A所示,内部电导体1312延伸超出电连接器1300的主体的末端以促进与另一个电连接器(未示出)上的阴型导体(未示出)连接。以此方式,电连接器1300可用作包括薄电阻层的传输线的终端,如上面结合代表性实施方案描述的那些。

[0100] 如图13C更清楚地示出的阴型导体1323具有中空内部,并且被配置成与另一个电连接器(未示出)上的阳型导体(未示出)连接。

[0101] 如本领域技术人员可理解的,内部电导体1312和外部电导体1314可为任何合适的电导体,如铜线、或其它金属、金属合金或非金属电导体。

[0102] 在某些实施方案中,电介质区域1316中提供的电介质材料是空气。在这样的实施方案中,为了提供结构传播并且由此确保内部电导体1312、薄电阻层1318和外部电导体1314的分离,电介质珠1320安置在内部电导体1312和外部电导体1314之间,如图所示。这些电介质珠可由适合于电连接器1300的预期目的的已知材料(例如下面描述的电介质材料)形成。

[0103] 可替代地,如果不使用空气作为电介质材料,则可在电介质区域1316中提供一层或多层电介质材料。预期用于电介质区域1316的电介质材料包括但不限于玻璃纤维材料,塑料如聚四氟乙烯(PTFE),具有减小的损耗角正切(例如 $10^{-2}$ )的低k电介质材料、陶瓷材料、液晶聚合物(LCP)或任何其它合适的电介质材料(包括空气)及其组合。保护套可包括保护性塑料涂层或其它合适的保护材料,并且优选为非导电绝缘套。在下面描述的代表性实施方案中,电介质区域1316可包括一个或多个电介质层。值得注意的是,各个代表性实施方案中描述的电介质层的数量通常是说明性的,并可涵盖更多(多于一个)或更少的层。然而,通常各种电介质层的电介质常数大致相同以传播大致TEM传播模式。

[0104] 电连接器1300不同于用于承载较低频率信号(如,音频信号)的其它屏蔽电连接器,因为电连接器1300的尺寸被控制以在内部电导体1312和外部电导体1314之间产生大致

精确的、大致恒定的间距。

[0105] 电连接器1300通常用于连接用于射频(RF)信号和更高(频)信号的信号传输线。为此,电连接器1300被配置用于RF、微波和毫米波应用。电连接器1300的应用包括:在电子测试和测量仪器中的路由高频信号,以及在电子测试和测量仪器与DUT(待测设备)之间连接,将无线发射器和接收器与其天线连接、计算机网络(互联网)连接部连接,以及分配有线电视信号。在射频应用中,电信号和磁信号主要以大致横向电磁(TEM)模式传播,该模式是由电连接器1300和与其连接的传输线传播的单个期望模式。在大致TEM模式中,电场和磁场都大致垂直于传播方向。然而,在某个截止频率以上,横向电(TE)或横向磁(TM)模式或两者也可以传播,就像它们在波导管中那样。在截止频率以上传输信号通常是不理想的,因为它可能导致具有不同相速度的多个模式传播,相互干扰。内部电导体1312和外部电导体1314的内部之间的圆周的平均值与截止频率大致成反比。

[0106] 薄电阻层1318与上面结合其它代表性实施方案描述的那些大致相同。如上面结合其它代表性实施方案所述,薄电阻层1318是经选择和配置为对于大致横向电磁(TEM)传输模式大致透明而使高阶传输模式大致完全衰减的电阻层。通常,如上面结合代表性实施方案的各种信号传输线所描述的,大致完全衰减意指电连接器1300被设计为适应期望的大致TEM模式和不期望的更高阶模式之间相对衰减的预定阈值。可理解的是,除了其它设计考虑之外,通过选择适当的厚度(例如,经由下文所述的趋肤深度)和薄电阻层1318的电阻率而实现该预定阈值。例如,在高达 $10^2$ GHz的RF频率是相关的并且传输长度约为 $10^1$ cm的阶的应用中,相对衰减的阈值要求TEM衰减常数为约 $0.1\text{m}^{-1}$ ,但是可涵盖大于约 $100\text{m}^{-1}$ 及有用地超过约 $1000\text{m}^{-1}$ 的高阶模式的衰减。另一方面,在最高工作频率为仅几GHz(或更低)并且传输长度为几十米的应用中,相对衰减的阈值要求约 $0\text{m}^{-1}$ 至约 $0.01\text{m}^{-1}$ 的TEM衰减常数,同时涵盖使高阶模式衰减至少约 $1.0\text{m}^{-1}$ 但有用地超过约 $10\text{m}^{-1}$ 。需要强调的是,这些实例仅仅是说明性的,并非旨在限制本教导。

[0107] 如上所述,“电薄”层是在感兴趣的(最高)信号频率下层厚小于趋肤深度 $\delta$ 的层。这确保了大致TEM模式被最小程度地吸收。趋肤深度由 $\delta = 1/\sqrt{(\pi f \mu \sigma)}$ 给出,其中 $\delta$ 以米表示, $f$ 是以Hz表示的频率, $\mu$ 是以亨利/米表示的层的磁导率, $\sigma$ 是以西门子/米表示的层的电导率。

[0108] 因此,对于本文的讨论,如果 $t$ 是薄电阻层1318的物理厚度,则如果 $t < \delta_{\min} = 1/\sqrt{(\pi f_{\max} \mu \sigma)}$ 它是“电薄层的”,其中 $\delta_{\min}$ 是以最大频率 $f_{\max}$ 计算的趋肤深度。例如,假设 $f_{\max} = 200\text{GHz}$ ,则该层是非磁性的,因此 $\mu = \mu_0 = \text{真空磁导率} = 4\pi * 10^{-7}$ 亨利/米,并且电导率为 $100$ 西门子/米。那么 $\delta_{\min} = 112.5\mu\text{m}$ ,所以在这种情况下, $25\mu\text{m}$ 的电阻层厚度 $t$ 会被认为是电薄层的。总之,当薄电阻层1318的厚度小于在电连接器1300的最大工作频率下的趋肤深度时,薄电阻层1318是电薄层的。

[0109] 如上述实施例那样,电介质区域1316可包括在内部电导体1312和薄电阻层1318之间的内部电介质材料、以及在薄电阻层1318和外部电导体1314之间的外部电介质材料。在各个实施例中,内部电导体1312和薄电阻层1318之间的内部电介质材料以及薄电阻层1318之间的外部电介质材料具有大致相同的厚度。在一些实施例中,内部电介质材料的厚度是外部电介质材料的厚度的约两倍。

[0110] 图14A是根据代表性实施方案的用于联接信号传输线的电连接器1400的透视图。在图14A中,电介质元件1450形成在电介质区域中。电介质元件1450保持内部电导体1412和

薄电阻片1418。

[0111] 电介质元件1450可包括一个或多个环,如图14A、B中更清楚地显示的。随着本说明书继续会变得更清楚,环可形成电介质区域的减小厚度的区域。可理解的是,减小环区域中的电介质元件1450的厚度减小了内部电导体1412和外导体1413之间的电介质区域的相对电介质常数。如果电介质元件1450的最外环被认为是这样的区域的边界,那么该区域可被识别为除了由电介质元件1450占据的体积之外的任何地方都包括气体如空气。因此,通过减小其中安置有环的电介质元件1450的厚度来减小电介质元件1450的体积,降低了电介质区域的整体电介质常数。

[0112] 电介质元件1450可被认为是多个电介质元件1450,并且采取包括一个或多个环的形式。单个电介质元件1450可安置在内部电导体1412和外部电导体1414之间,在电连接器1400的约中间长度处。可替代地,如图14C中所示,可提供两个电介质元件1450,其中一个电介质元件1450安置在电连接器1400的窄端附近,而另一个电介质元件1450安置在宽端附近。当然,理解到对于给定材料,每个电介质元件1450增加内部电导体1412和外部电导体1414之间的电介质区域的整体电介质常数,涵盖多于两个电介质元件1450。

[0113] 中心轴线1401延续穿过电连接器1400的内部。在图14A中,内部电导体1412、外部电导体1414、电介质元件1450和/或至少电介质元件1450的环围绕中心轴线1401大致方位角对称。此外,内部电导体1412、外部电导体1414和至少电介质元件1450的环沿其各自的长度渐缩。也就是说,内部电导体1412、外部电导体1414和直径元件的环在图14A中从中心轴线到右侧具有较小的半径,并且在图14A中从中心轴线到左侧具有较大的半径。结果,内部电导体1412、外部电导体1414中的每一个在一端处比在另一端处具有更大的横截面积。电介质元件也是如此。

[0114] 在图14A中,锥形部具有足够的长度以在电导体的最高工作频率下在内部电导体1412与外部电导体1414之间维持小于约25电角度的偏斜。可替代地,锥形部可具有足够的长度以在电导体的最高工作频率下在内部电导体1412与外部电导体1414之间维持小于约20电角度的偏斜。以度数表示的偏斜( $\Delta \phi$ )约为 $\Delta \phi = 360 (f/v) [ \sqrt{L^2 + (a_2 - a_1)^2} - \sqrt{L^2 + (b_2 - b_1)^2} ]$ ,其中f是以Hz表示的频率,v是对应于电介质区域的相速度,L是锥形部的轴向长度, $a_1$ 是第一电导体的外导体半径, $b_1$ 是第一电导体的内导体半径, $a_2$ 是第二电导体的外导体半径,以及 $b_2$ 是第二电导体的内导体半径。

[0115] 另外,对于低偏斜可为有用的浅锥角,信号路径和接地路径之间的偏斜长度可约为 $(\alpha_o^2 - \alpha_i^2) L/2$ ,其中外半角 $\alpha_o$ 和内半角 $\alpha_i$ 以弧度为单位而不是以度为单位测量。使用 $20^\circ = \pi/9$ 弧度的事实,经验法则是

$$[\text{0116}] \quad (\sqrt{\epsilon_r}) * L * f_{\max} * (\alpha_o^2 - \alpha_i^2) / c < 1/9.$$

[0117] 这里 $\epsilon_r$ 是锥形部中的相对介电常数, $f_{\max}$ 是所需的最大工作频率,c是真空中光速。

[0118] 由于 $\alpha_o$ 和 $\alpha_i$ 不是独立的事实,如果在整个锥形部上要保持50欧姆,则外导体/内导体半径比可保持在 $a_1/b_1 = a_2/b_2 = \exp((5/6) * (\sqrt{\epsilon_r}))$ 其中, $\exp(x)$ 是指数函数 $e^x$ 。因此,小半角也满足以下方程式:

$$[\text{0119}] \quad \alpha_o/\alpha_i = \exp((5/6) * (\sqrt{\epsilon_r}))$$

[0120] 上面提到的方程式可用来充分描述对锥形部的约束。

[0121] 另外,偏离完美的圆柱形同轴电缆或连接器可引起延迟偏差问题。在这种偏离下,在信号/内部导体所采用的路径与接地返回/外部导体所采用的路径之间会存在长度差(并且因此存在偏斜)。由于需要维持直径比以维持TEM模式的特性阻抗,所以商业化阶梯式适配器能够引入这种偏斜,因为外导体中的阶梯不连续性明显大于内部导体中的阶梯不连续性。根据本公开,使用锥形适配器,可根据毕达哥拉斯几何容易地计算偏斜。关于锥形部半角,例如对于圆锥锥形部,平面CPW锥形部或联接线锥形部,相应的内导体和外导体的 $\alpha_{内部}$ 和 $\alpha_{外部}$ ,路径偏斜由下式给出:

$$[0122] \quad d_L = L * (\sec(\alpha_{外部}) - \sec(\alpha_{内部}))$$

[0123] 其中L是锥形部的轴向长度,sec是割线函数。

[0124] 对于浅半角,路径偏斜可约为

$$[0125] \quad d_L \sim (L/2) * ((\alpha_{外部})^2 - (\alpha_{内部})^2)$$

[0126] 其中半角以弧度为单位而不是以度数为单位测量。

[0127] 经验法则是在感兴趣的最高频率 $f_{max}$ 处保持相位延迟偏斜 $<20$ 度(= $\pi/9$ 弧度)。这意味着

$$[0128] \quad 2\pi i * f_{max} * d_L * \sqrt{\epsilon_r} / c < \pi/9$$

[0129] 用上述 $d_L$ 的估计值代入,

$$[0130] \quad L * f_{max} * \sqrt{\epsilon_r} * ((\alpha_{外部})^2 - (\alpha_{内部})^2) / c < 1/9.$$

[0131] 这里 $\epsilon_r$ 是锥形部中的相对介电常数。在空气恒定情况下, $\epsilon_r$ 会是1.0,c为光在真空中的速度。

[0132] 薄电阻片1418也设置在内部电导体1412和外部电导体1414之间。薄电阻片1418可沿内部和外部电导体1412、1414的整个长度设置,或可沿着部分如内部和外部电导体1412、1414在图14A中向左变宽的部分设置。例如,薄电阻片1418可沿锥形部的整个长度安置,并且小于电连接器1400的整个长度。实际上,对于电连接器1400的较窄的部分,薄电阻片1418可能不是特别需要的或有益的,如当电连接器1400的较窄部分不传播将被衰减的较高阶模式时。在另一个实例中,第二薄电阻层(在图14A或图14B中未示出)也可布置在内部电导体1412和外部电导体1414之间。

[0133] 如本公开内容中其它地方所解释的,薄电阻片1418可起到如下作用:对大致横向电磁(TEM)传输模式为大致透明的(例如,穿过),而使更高阶的传输模式大致完全衰减。在一个实施例中,薄电阻片1418可安置在电介质区域中且在内部电导体1412和外部电导体1414之间。

[0134] 电介质元件1450可被分成例如四个零件。这四个零件可包括位于中心导体和薄电阻片1418之间的两个内部零件,以及在薄电阻片1418和外部导体之间的两个外部零件。内部零件可容易地首先组装,并且外部零件可容易地围绕内部零件组装。可替代地,电介质元件1450可被分成两件,即,内部零件和外部零件。可通过将内部零件滑入到电连接器的(距离较窄的端部)适当的位置,然后将外部零件滑入到(距离较窄的端部)适当的位置来组装这两个零件。

[0135] 如图14A所示,薄电阻片1418具有弯曲的拐角,并且在片的端部之间具有微小的间隙。如图所示,片具有指示片开始和结束位置的接缝,并且弯曲的拐角出现在电连接器两端上的接缝处。如本文所解释的,弯曲拐角和间隙在衰减高阶模式下不会引起显著问题。



[0136] 图14B包括用于联接图14A的信号传输线的电连接器的横截面图。在图14A和图14B中,内部电导体1412和外部电导体1414以及电介质元件1450在方位上大致围绕中心轴线1401。如下面更全面描述的,该方位角对称性大致防止横向电磁(TEM)模式向高阶横电(TE)模式或高阶横磁(TM)模式的变换。

[0137] 在图14B的两个横截面图中,1402左侧的正视图是由元件渐缩所提供的相对较窄的端部,而右侧上的后视图1403是由于元件渐缩所提供的相对较宽的端部。如图所示,在每个视图中出现电介质元件1450的三个环以及内部电导体1412和外部电导体1414。

[0138] 图14C是根据代表性实施方案的用于联接信号传输线的另一电连接器的透视图。在图14C中,两个未连接的电介质元件1450各自保持中心导体和薄电阻片1418。电介质元件1450各自以所示的方式形成环。在图14C中,正视图1402位于电连接器的较窄的锥形端处,而后视图1403位于电连接器的较宽的锥形端处。

[0139] 类似于图14A中所示的电介质元件1450,14C中所示的电介质元件1450可包括可以逐件地组装的多个零件(例如,两个或四个)。可替换地,图14C中的电介质元件1450可从较窄的端部滑动到电连接器上适当的位置,左侧较大的电介质元件1450在右侧较小的电介质元件1450之前滑动。

[0140] 如图14C所示,薄电阻片1418具有弯曲的拐角,并且在片的端部之间具有微小的间隙。如图所示,片具有指示片在何处开始和结束的接缝,并且弯曲的拐角出现在电连接器两端上的接缝处。如本文所解释的,弯曲拐角和间隙在衰减高阶模式下不会引起显著问题。

[0141] 图14D包括用于联接图14C的信号传输线的电连接器的横截面图。在图14D中,横截面图类似于图14B的横截面图,但是仅存在电介质元件1450的两个环。

[0142] 图15A示出了根据代表性实施方案的电连接器的方位角对称性。方位角对称性是围绕结构的中心轴线的旋转对称性。在图15A中, $b_1$ 和 $b_2$ 是在所示出结构上形成直线的两个点。此外, $a_1$ 和 $a_2$ 也是在所示出结构上形成直线的两个点。考虑到方位角对称性, $a_1$ 和 $a_2$ 从所示出的轴线旋转相同的量(以度表示)。类似地, $b_1$ 和 $b_2$ 从所示出的轴线旋转相同的量(以度表示)。

[0143] 在图15A中,较小的电介质元件1550包括环1551,并且被安置在电介质元件1550的较小电介质环的较窄端处;并示出了具有环1553的较大的电介质元件1552。这些环是电介质元件1550的厚度减小的区域,并且以方位角对称的方式提供,以确保电介质环围绕所示的轴线对称。

[0144] 图15B包括图15A所示的电连接器的横截面图,并且描绘了较小的电介质元件1550的环和环1551。

[0145] 图16A是根据代表性实施方案的用于联接信号传输线的开槽电连接器的透视图。在图16A中,开槽电连接器的阳型部分被插入到开槽电连接器的阴型部分。在图16A中,开槽电连接器的阳型部分可以插入到阴型部分中,使得两个部分被锁定在一起。

[0146] 图16B是根据代表性实施方案的用于联接信号传输线的无槽电连接器的透视图。在图16B中,无槽电连接器的阳型部分可以插入到阴型部分中,而不用使用槽将两个部分锁定在一起。

[0147] 本文中的一个或多个实施方案可单独地和/或共同地由术语“发明”来提及,仅仅是为了方便,并且不打算将本申请的范围自愿地限制于任何特定的发明或发明构思。而且,

尽管在此已经说明和描述了具体实施方案,但应该理解的是,可用被设计为实现相同或类似目的的任何后续布置替代所示的具体实施方案。本公开旨在覆盖各个实施方案的任何和所有随后的修改或变型。上述实施方案的组合以及本文中未具体描述的其它实施方案对于本领域技术人员而言在查阅说明书后将是显而易见的。

[0148] 根据本公开的一个方面,电连接器被配置为将一条信号传输线电连接到另一条信号传输线。电连接器包括围绕中心轴线安置的第一电导体。第一电导体沿其长度具有锥形部。第一电导体围绕中心轴线大致方位角对称。第二电导体围绕中心轴线安置。第二电导体沿其长度具有锥形部。第二电导体围绕中心轴线大致方位角对称。电介质区域包括气体,并且被安置在第一电导体和第二电导体之间。电介质区域沿其长度具有锥形部。电介质元件被安置在第一电导体和第二电导体之间的电介质区域中。电介质元件围绕中心轴线大致方位角对称。

[0149] 根据本公开的另一方面,电介质元件是第一电介质元件。电连接器包括在第一电导体和第二电导体之间在电介质区域中的第二电介质元件。第二电介质元件围绕中心轴线大致方位角对称。

[0150] 根据本公开的又一方面,电导体包括安置在第一电导体和第二电导体之间、在至少沿所述第一电导体和所述第二电导体各自长度的区域中的薄电阻层,在所述区域中,第一电导体和第二电导体具有更大的宽度。

[0151] 根据本公开的又一方面,在第一和第二电介质元件中的每一个中存在环。

[0152] 根据本公开的另一方面,环围绕中心轴线大致方位角对称地安置。

[0153] 根据本公开的又一方面,环包括第一和第二电介质元件中的每一个的减小厚度的区域。

[0154] 根据本公开的又一方面,气体是空气。

[0155] 根据本公开的另一方面,第一和第二电导体的大致方位角对称性以及第一和第二电介质元件的大致方位角对称性大致防止了横向电磁(TEM)模式到高阶横电(TE)模式或高阶横向磁(TM)模式的模式变换。

[0156] 根据本公开的又一方面,第一电介质元件占据电介质区域的第一部分,第二电介质元件占据电介质区域的第二部分,并且气体存在于电介质区域的剩余部分中。

[0157] 根据本公开的又一方面,第一电介质元件占据电介质区域的第一部分,第二电介质元件占据电介质区域的第二部分,并且空气存在于电介质区域的剩余部分中。

[0158] 根据本公开的另一方面,锥形部具有的长度足以在电导体的最高工作频率下将第一电导体与第二电导体之间的偏斜维持为小于约25电角度。

[0159] 根据本公开的又一方面,锥形部具有的长度足以在电导体的最高工作频率下将第一电导体与第二电导体之间的偏斜维持为小于约20电角度。

[0160] 根据本公开的再另一方面,以度数表示的偏斜( $\Delta \phi$ )约为:

[0161] 
$$\Delta \phi = 360 (f/v) [ \sqrt{L^2 + (a_2 - a_1)^2} - \sqrt{L^2 + (b_2 - b_1)^2} ]$$
,其中f是以Hz表示的频率,v是对应于电介质区域的相速度,L是锥形部的轴向长度, $a_1$ 是第一电导体的外导体半径, $b_1$ 是第一电导体的内导体半径, $a_2$ 是第二电导体的外导体半径,以及 $b_2$ 是第二电导体的内导体半径。

[0162] 根据本公开的另一方面,以度数表示的偏斜( $\Delta \phi$ )约为:

[0163]  $\Delta \phi = 360 (f/v) [ \sqrt{L^2 + (a_2 - a_1)^2} - \sqrt{L^2 + (b_2 - b_1)^2} ]$ , 其中  $f$  是以 Hz 表示的频率,  $v$  是对应于电介质区域的相速度,  $L$  是锥形部的轴向长度,  $a_1$  是第一电导体的外导体半径,  $b_1$  是第一电导体的内导体半径,  $a_2$  是第二电导体的外导体半径, 以及  $b_2$  是第二电导体的内导体半径。

[0164] 根据本公开的又一方面, 第一电导体和第二电导体具有与各自的第二端相对的各自的第一端, 并且第一端具有比各自的第二端更大的面积尺寸, 在第一端与第二端之间产生锥形部。

[0165] 根据本公开的又一方面, 电介质层具有与第二端相对的第一端, 并且第一端具有比第二端更大的面积尺寸, 在第一端和第二端之间产生锥形部。

[0166] 根据本公开的另一方面, 薄电阻层沿着锥形部的整个长度安置。

[0167] 根据本公开的又一方面, 薄电阻层是第一薄电阻层, 并且电连接器还包括安置在第一电导体和第二电导体之间的第二电阻层。

[0168] 根据本公开的又一方面, 薄电阻层安置在电介质区域中, 并且安置在第一电导体和第二电导体之间。薄电阻层对于大致横向电磁 (TEM) 传输模式是大致透明的, 而大致完全衰减了高阶传输模式。

[0169] 虽然已经在附图和前面的描述中详细说明并且描述了本发明, 但是这些说明和描述将被视为说明性或实例性而非限制性的; 因此, 本发明不限于上述公开的实施方案。

[0170] 本领域的技术人员在实践所要求保护的发明中, 通过对图纸、本公开以及所附权利要求的研究, 能够理解并实现所公开的实施方案的其它变型。在权利要求中, 词语“包括/包含”不排除其它元件或步骤, 并且不定冠词“一”或“一个”不排除复数。在相互不同的从属权利要求中记载某些措施这一事实并不指示这些措施的组合不能被用于获益。

[0171] 尽管在此公开了代表性实施方案, 但本领域的普通技术人员可理解, 根据本教导的许多变型是可能的并且仍然在所附权利要求组的范围内。因此, 除了在所附权利要求的范围内, 本发明不受限制。

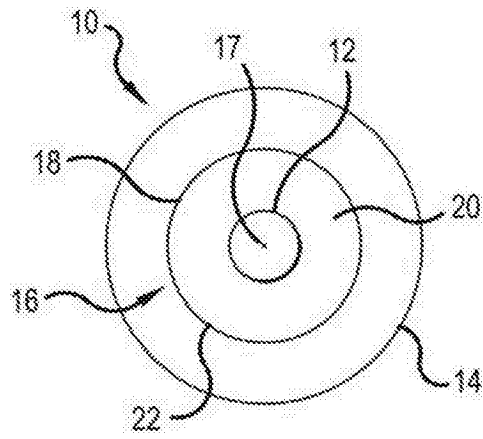


图1

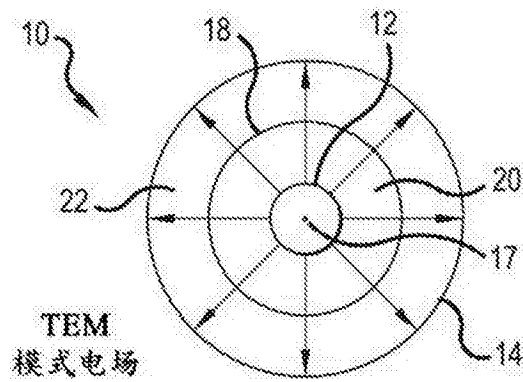


图2

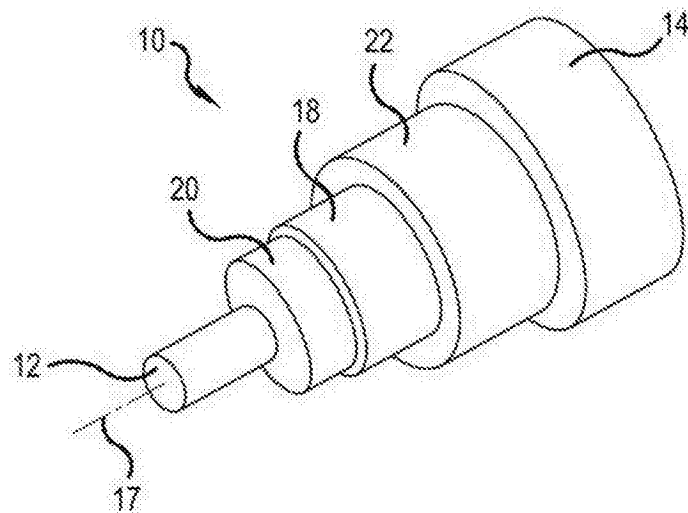


图3

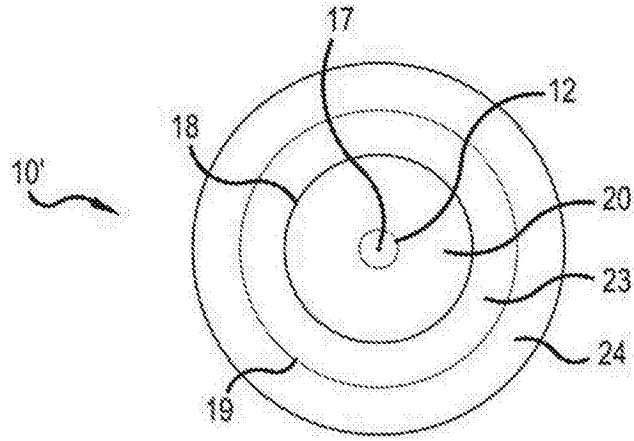


图4

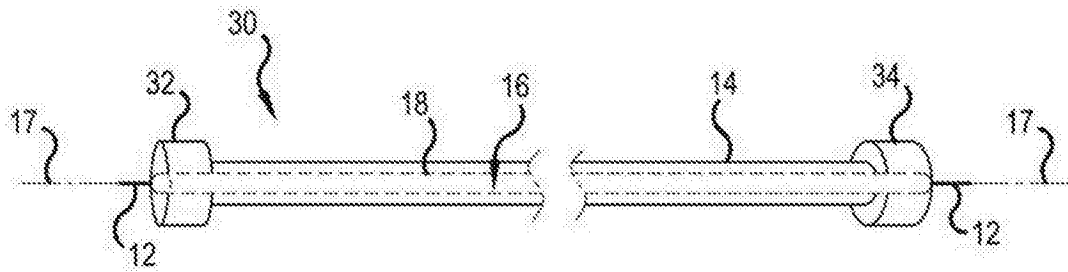


图5

TM<sub>m</sub> 模式的k<sub>a</sub> (n=径向折射率, m=方位角折射率)

n/m	0	1	2	3	4	5
1	4.53	4.806*	5.536	6.528	7.638	8.787
2	9.161	9.32	9.784	10.51	11.44	12.509

图6

TM<sub>m</sub> 模式的k<sub>a</sub> (n=径向折射率, m=方位角折射率)

n/m	0	1	2	3	4	5
1	4.806*	1.561	2.951	4.173	5.311	6.415
2	9.32	5.203	6.267	7.671	9.108	10.452

图7

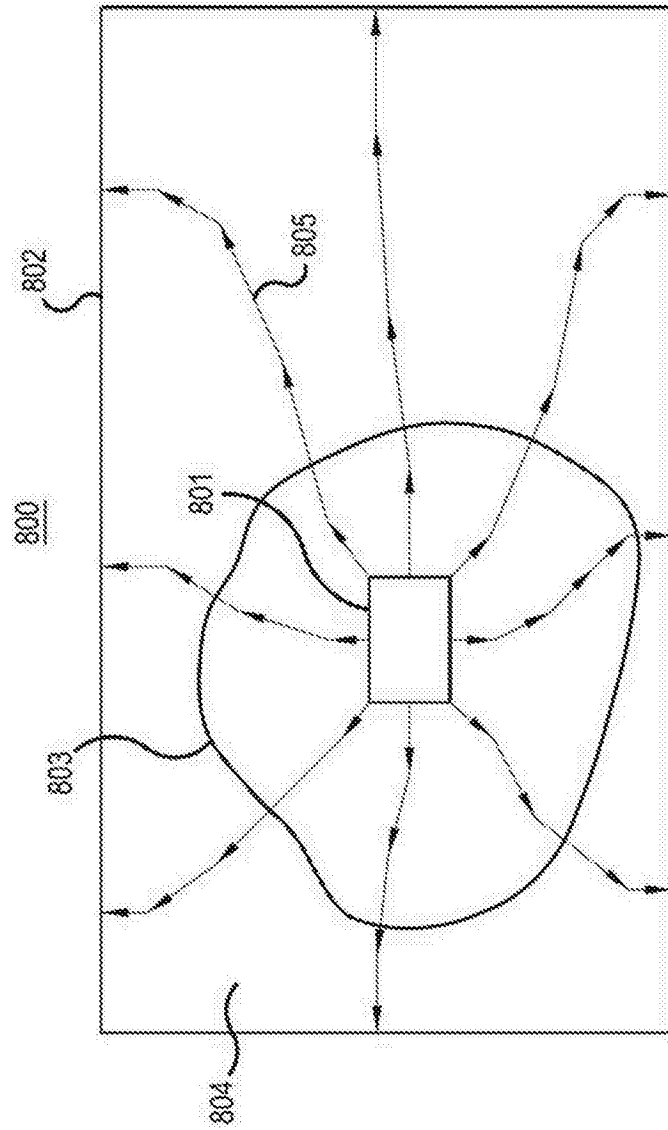


图8



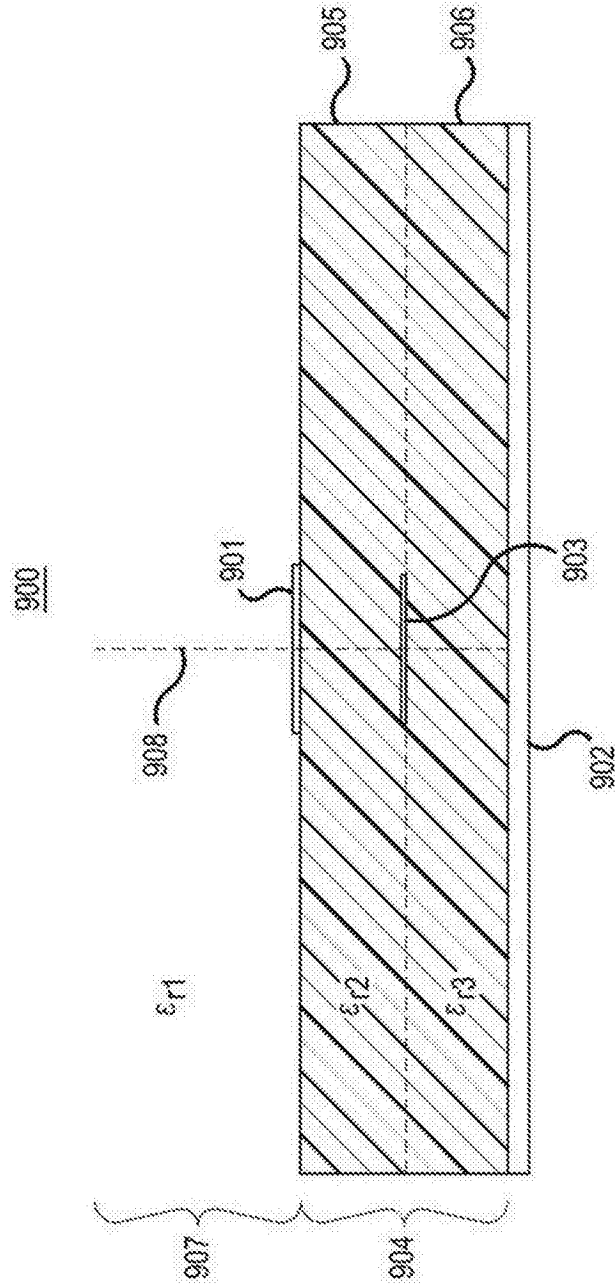


图9

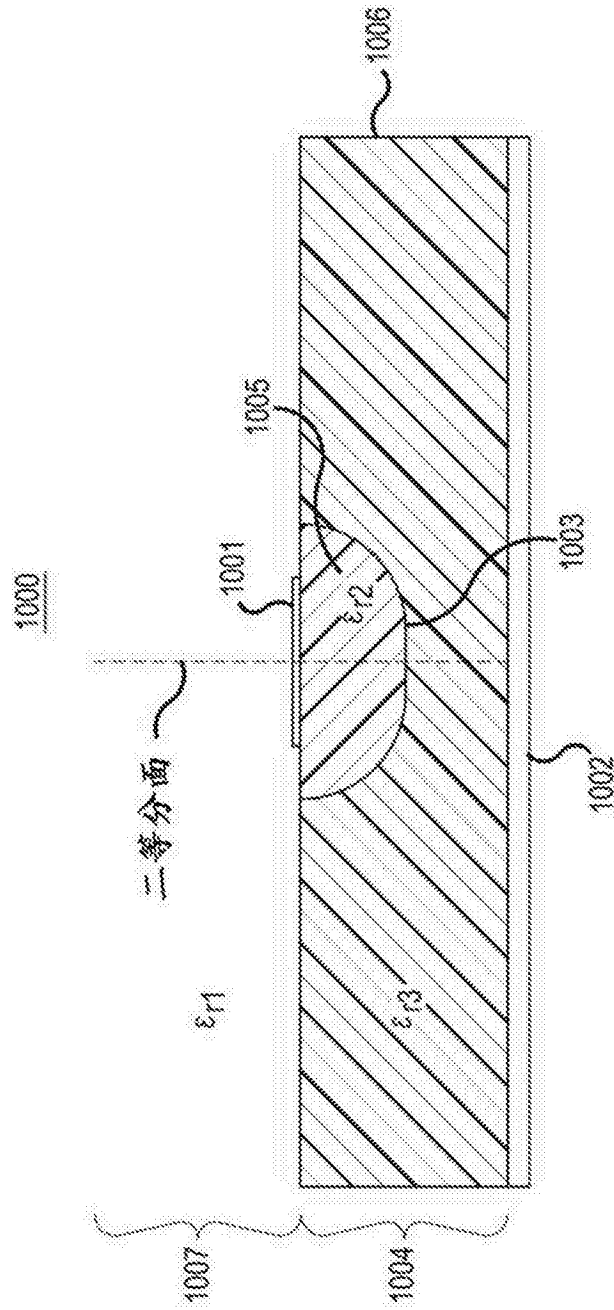


图10

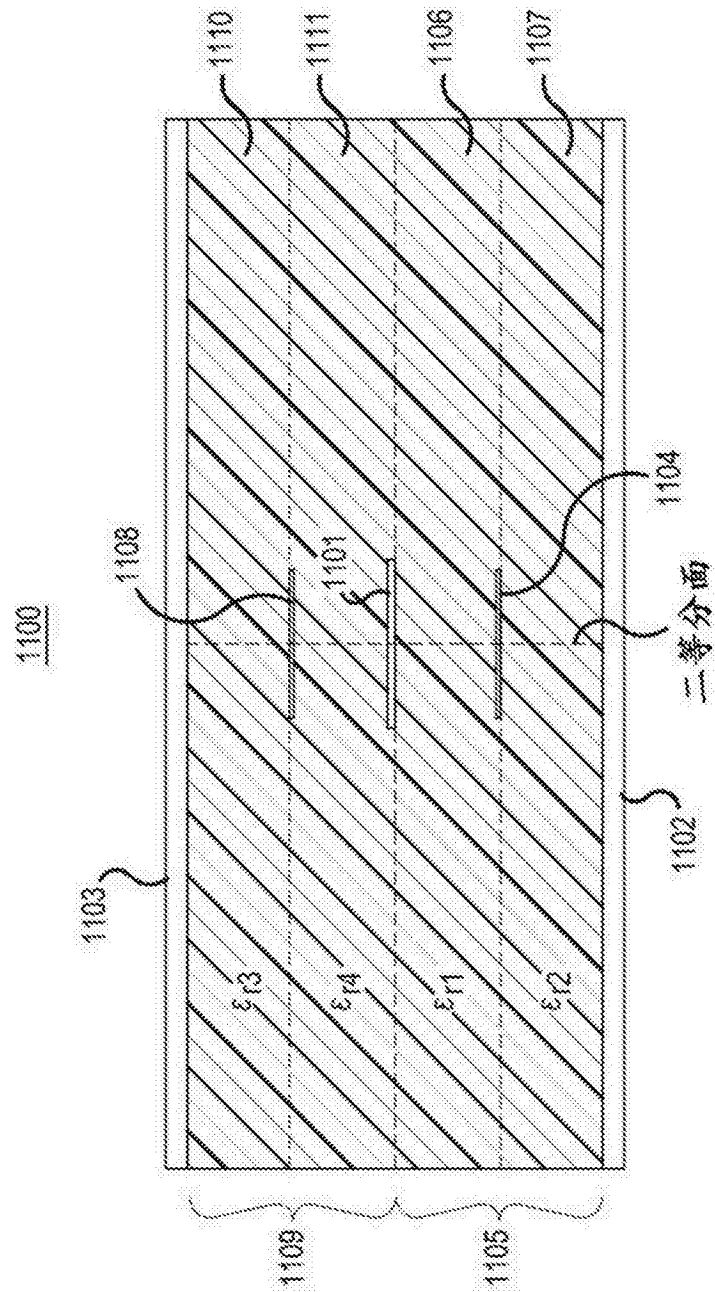


图11

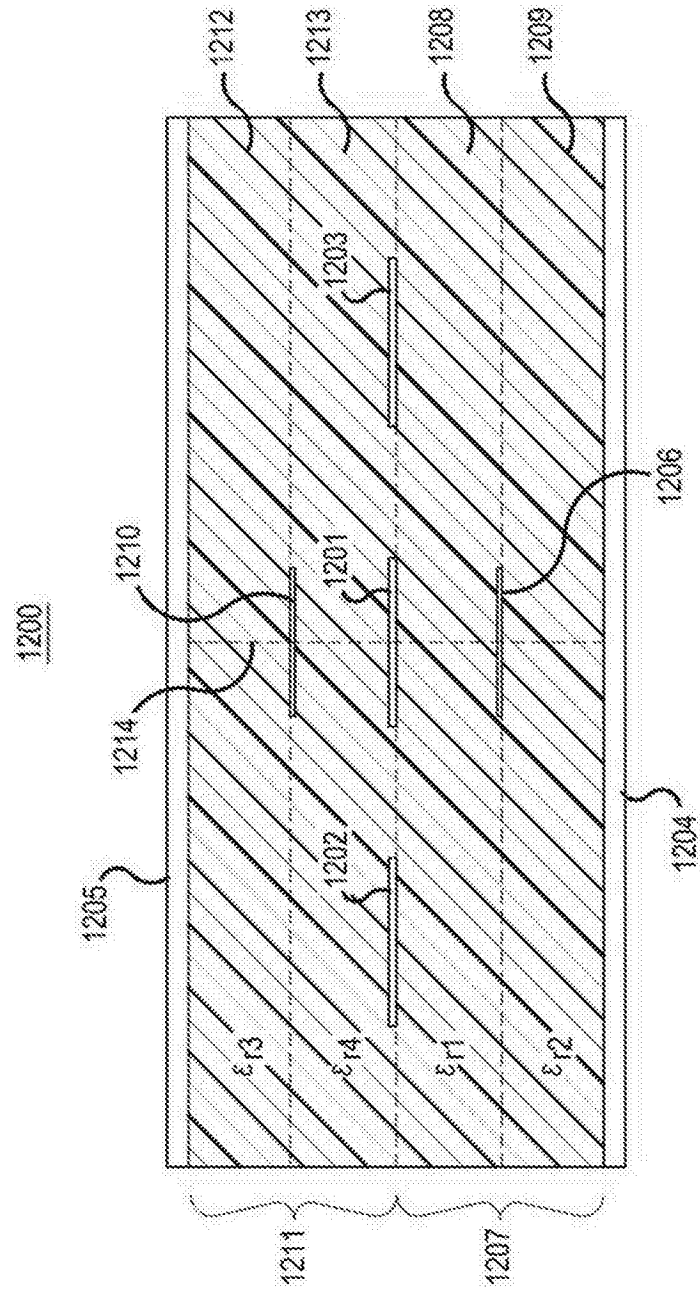


图12

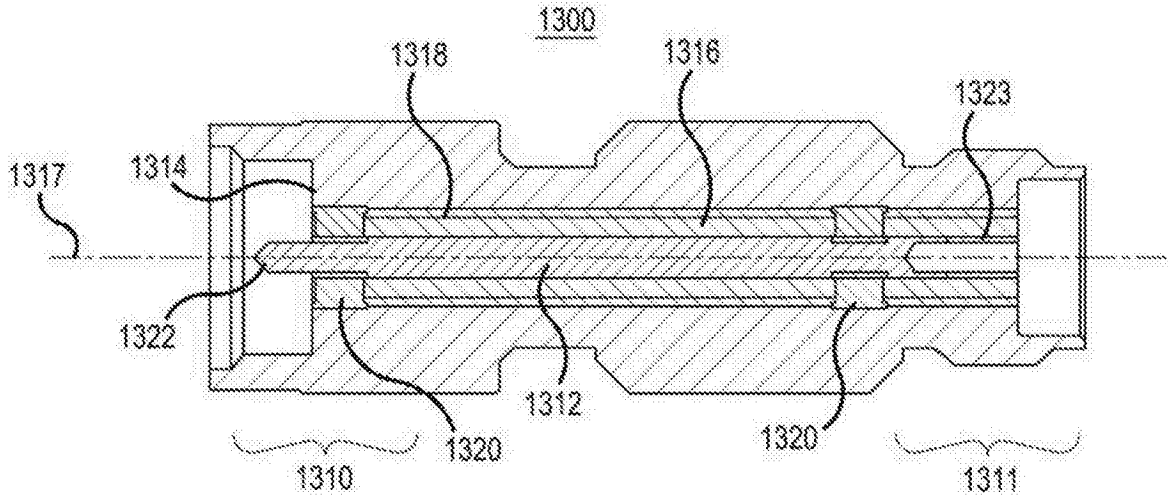


图13A

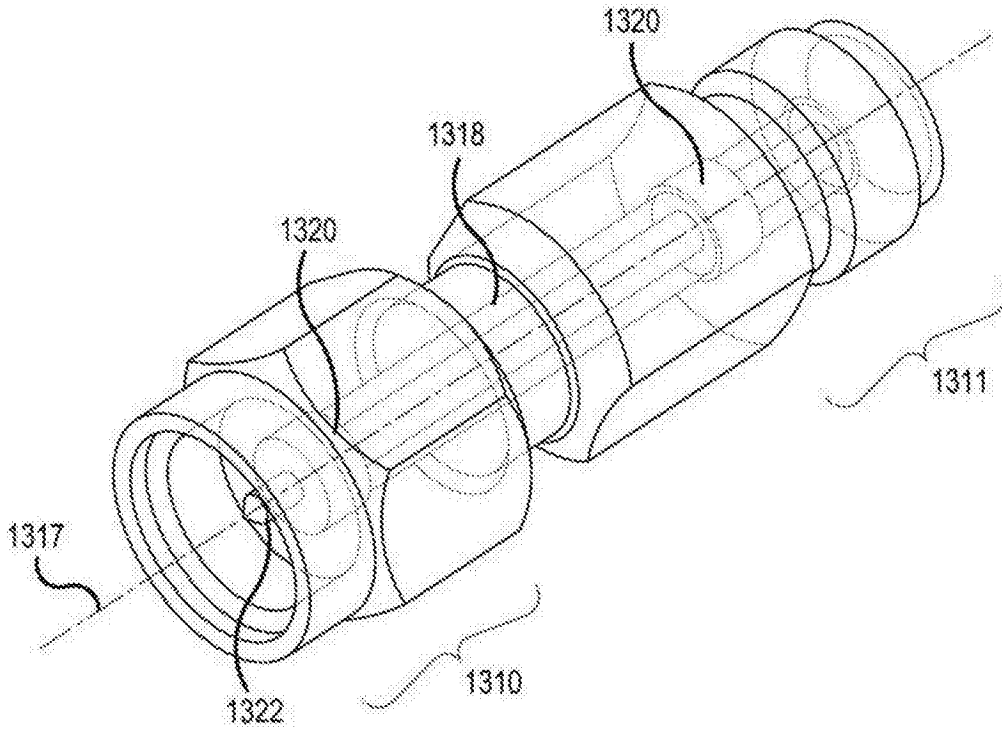


图13B

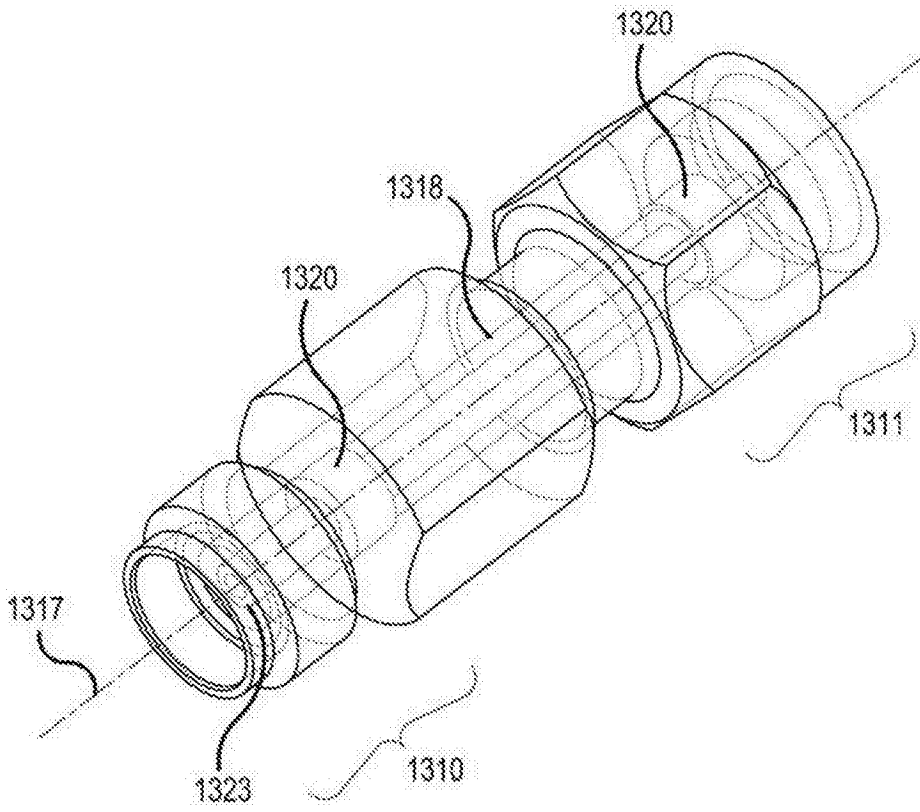


图13C

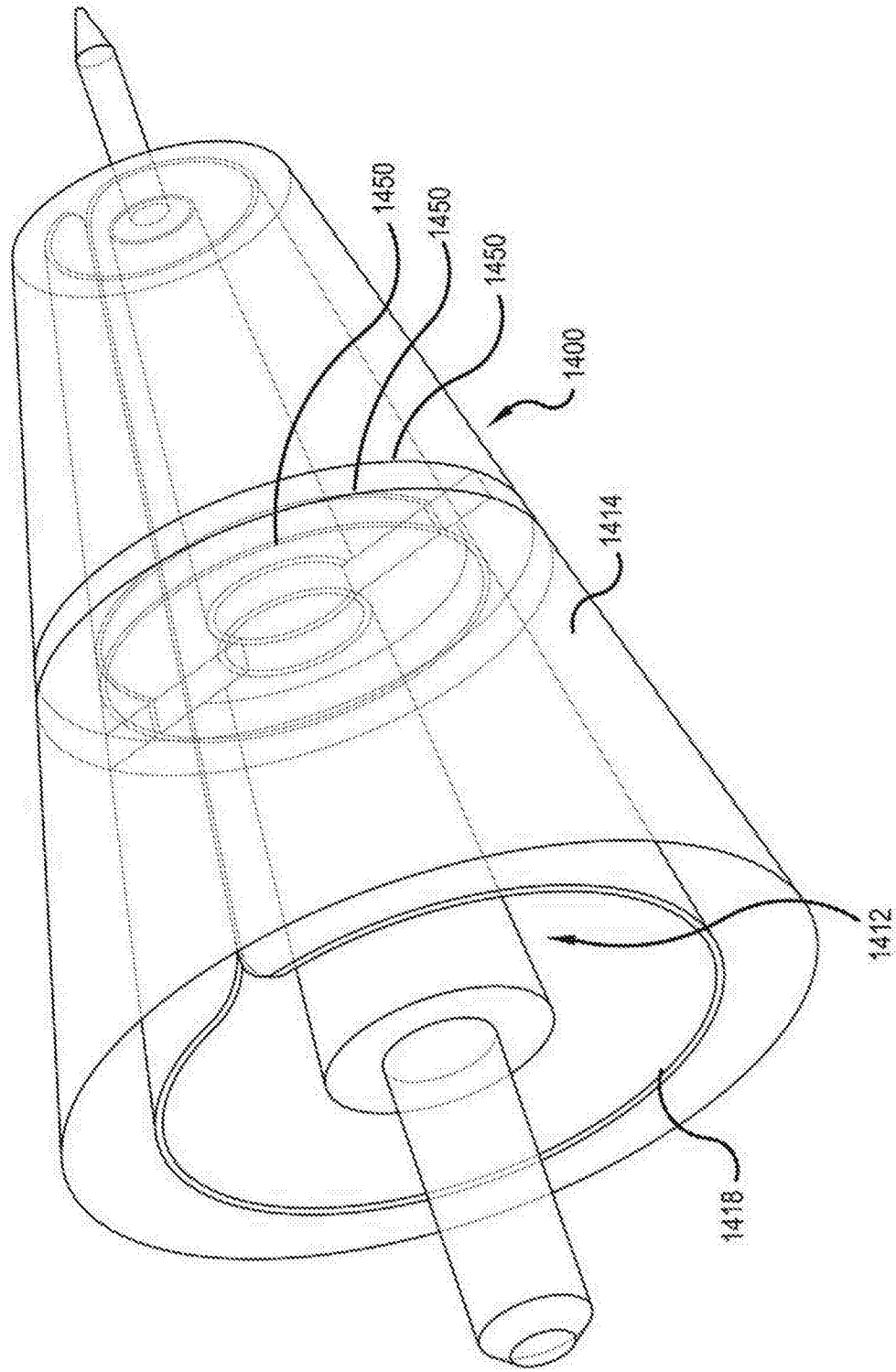


图14A

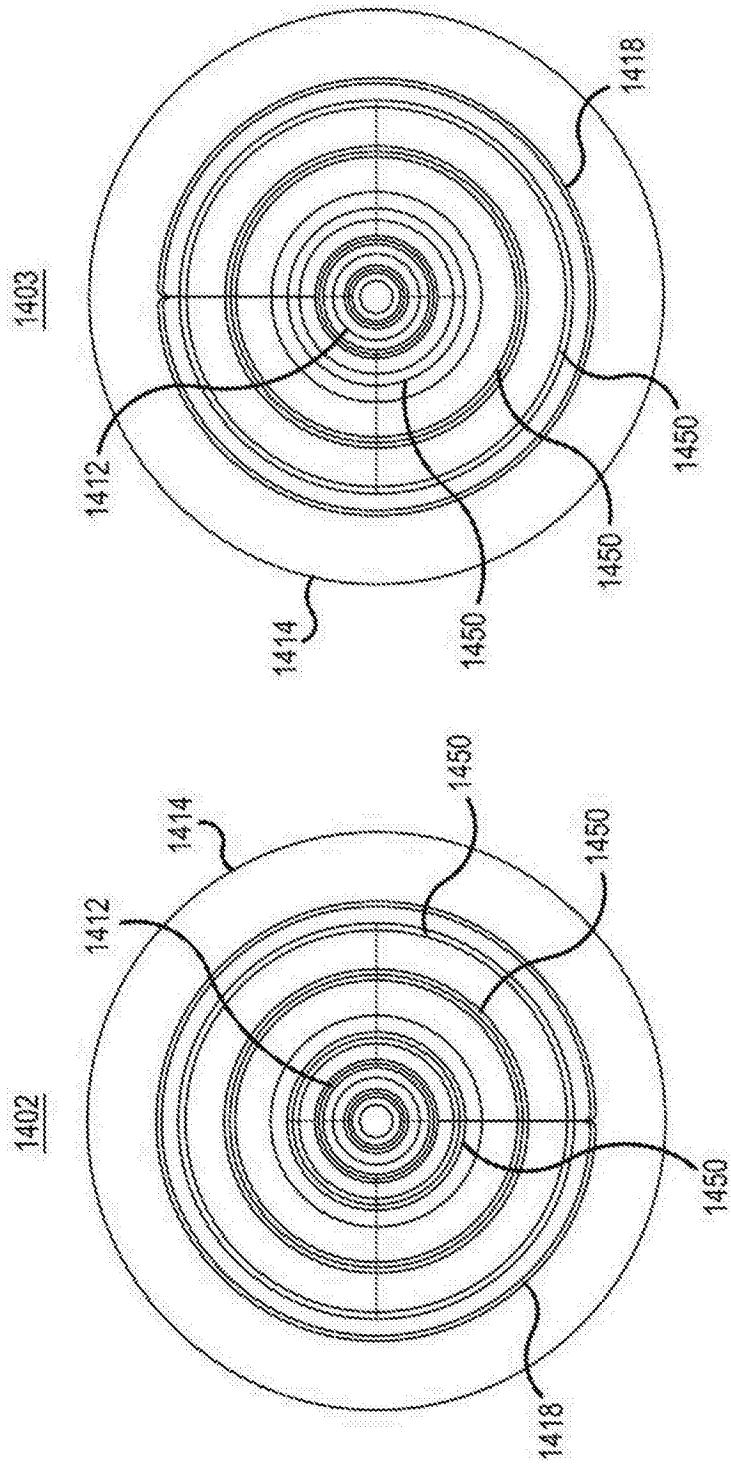


图14B



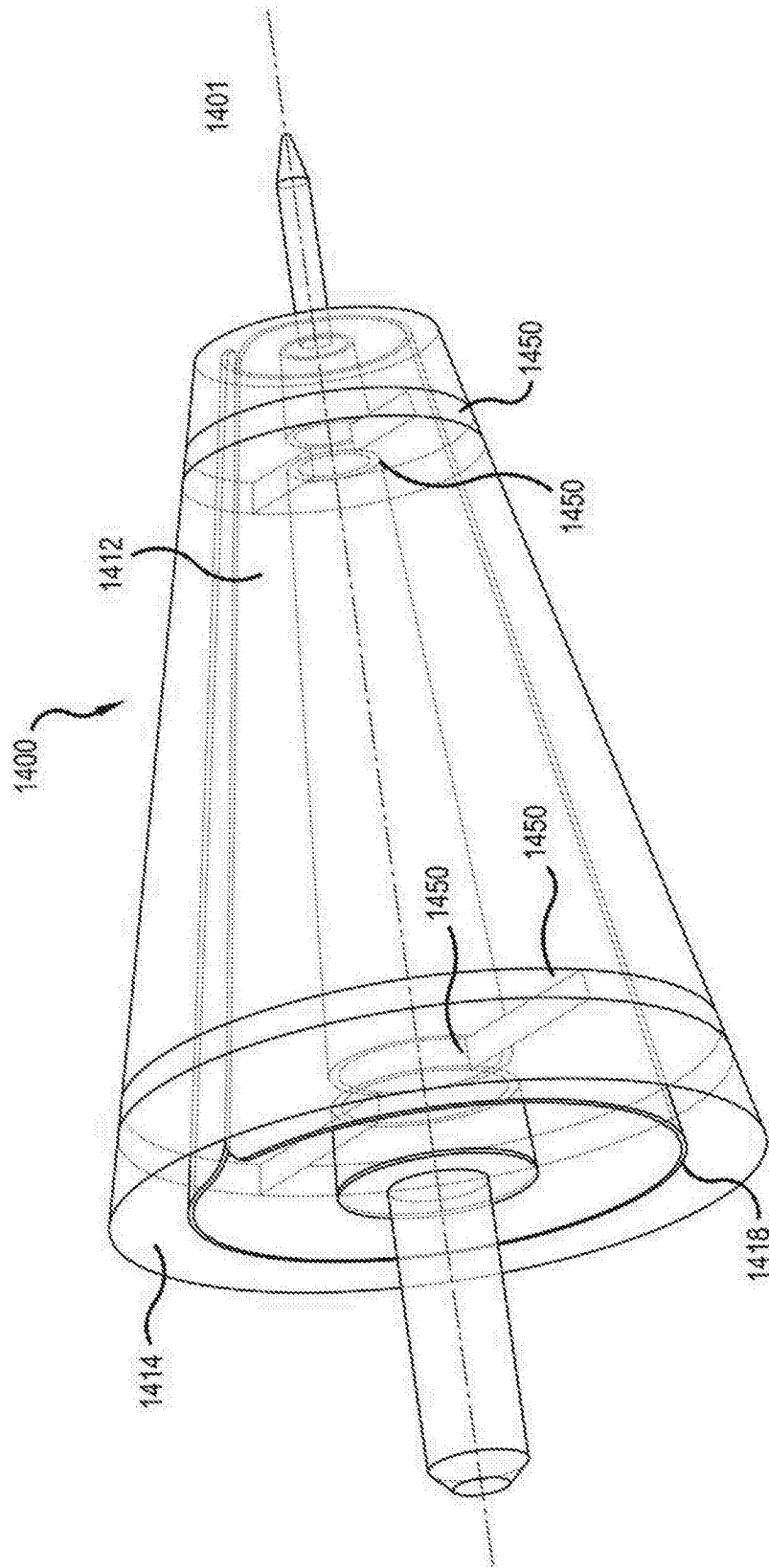


图14C

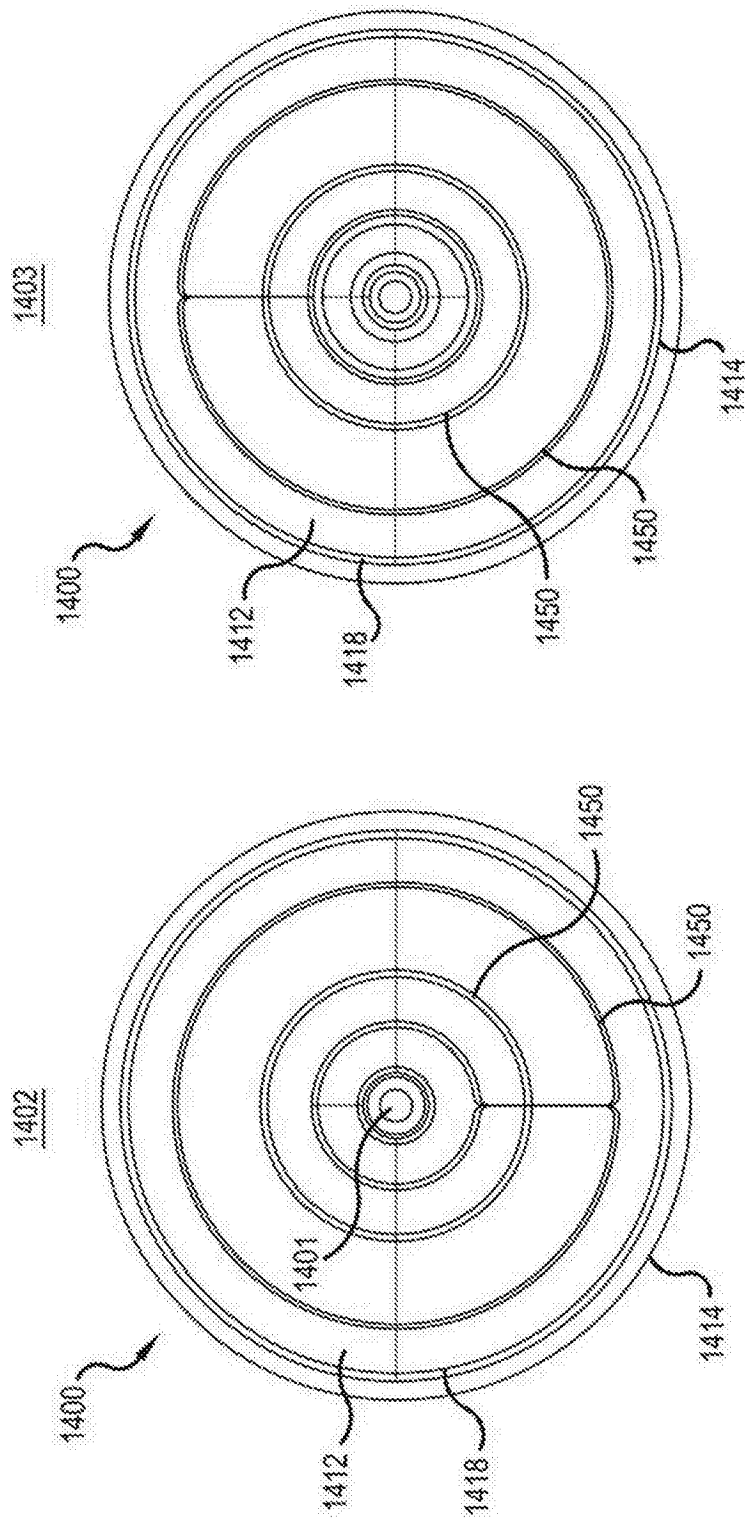


图14D

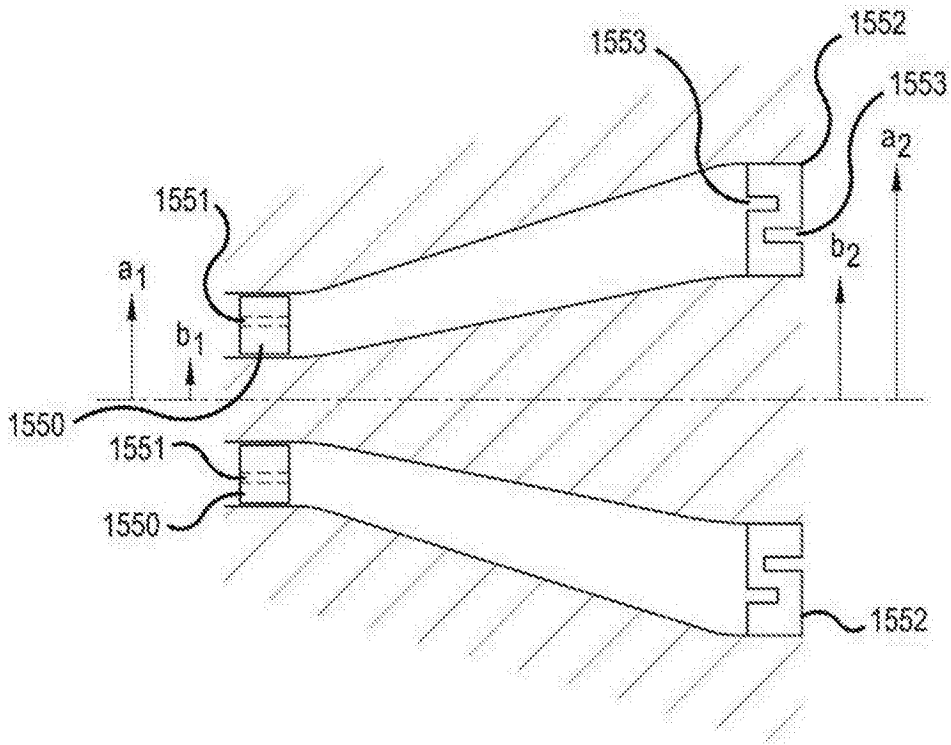


图15A

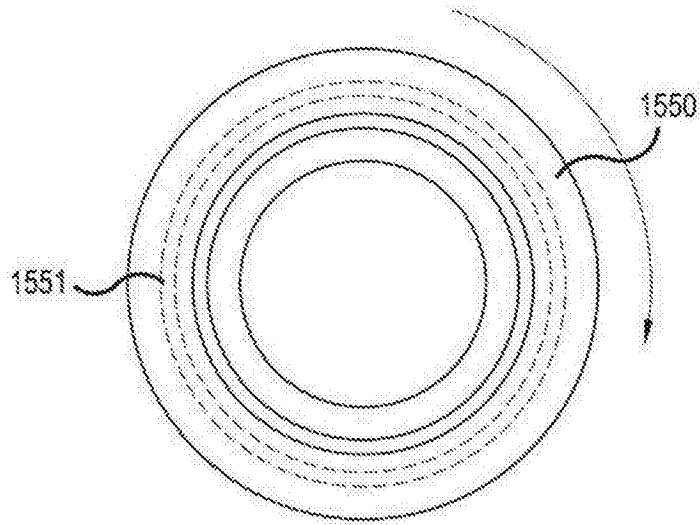


图15B

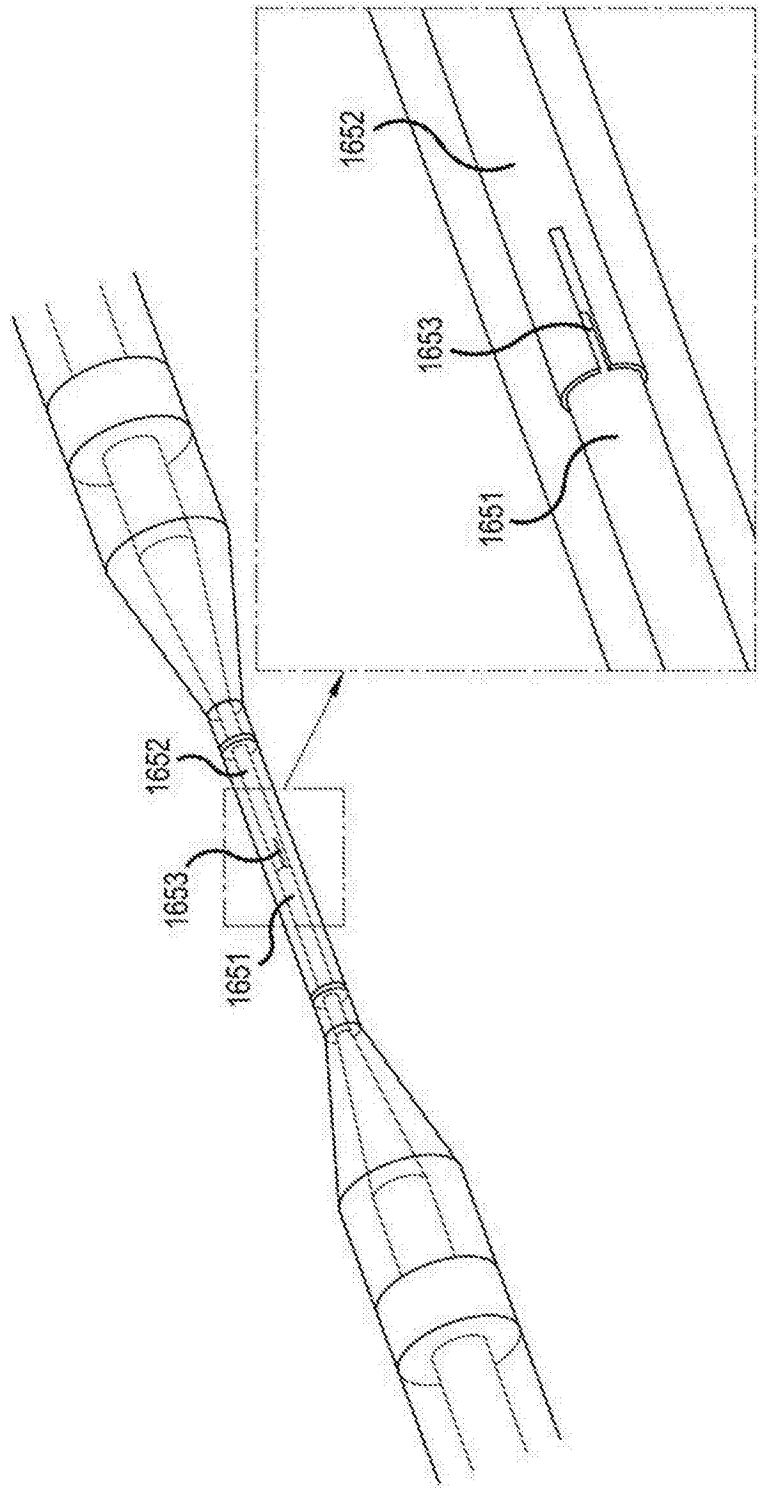


图16A

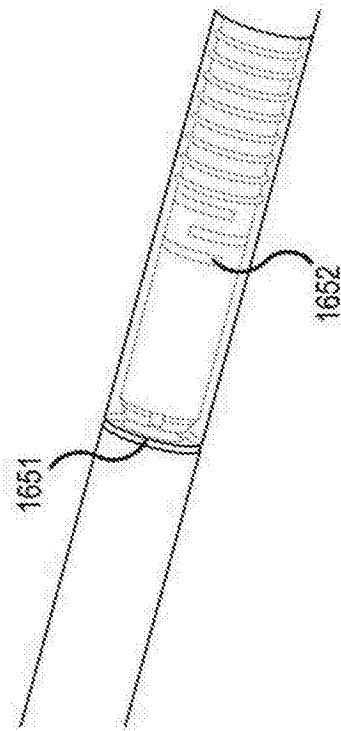
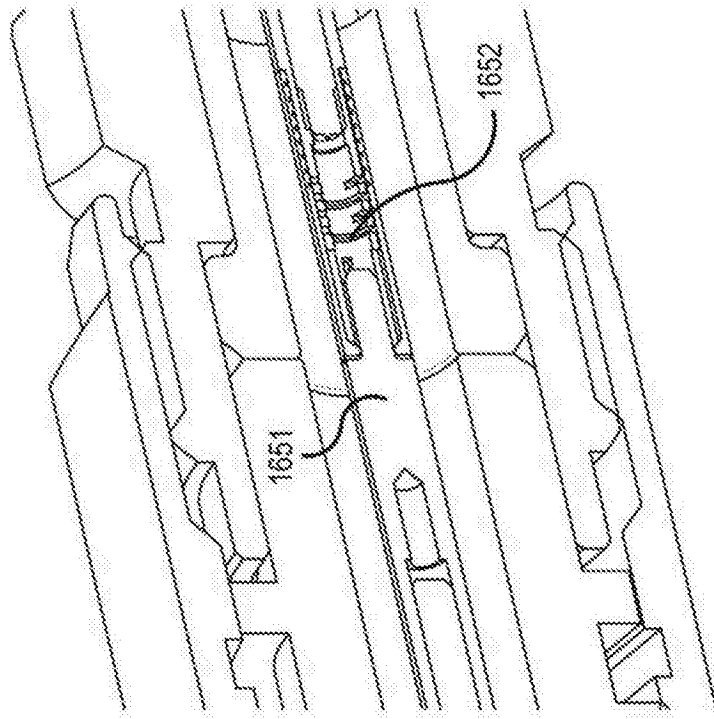


图16B