



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117015906 A

(43) 申请公布日 2023. 11. 07

(21) 申请号 202280022142.0

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司 11287

(22) 申请日 2022.06.13

专利代理师 林斯凯

(30) 优先权数据

17/349,022 2021.06.16 US

(51) Int.Cl.

H01P 5/18 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.09.18

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2022/033194 2022.06.13

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/265962 EN 2022.12.22

(71) 申请人 德州仪器公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 托尔加·丁奇

斯瓦米纳坦·桑卡兰

萨钦·卡利亚

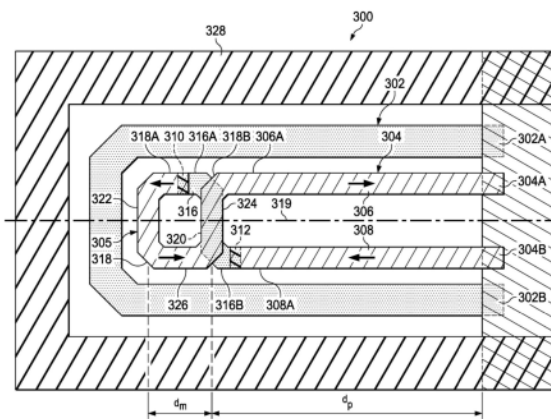
权利要求书3页 说明书5页 附图7页

(54) 发明名称

片上定向耦合器

(57) 摘要

一种片上定向耦合器(300)包含第一线性导电迹线(306)、第二线性导电迹线(308)和导电环(305)。所述第一线性导电迹线(306)包含端部(306A)和耦合端口(304A)。所述第二线性导电迹线(308)与所述第一线性导电迹线(306)间隔开且平行于所述第一线性导电迹线(306)。所述第二线性导电迹线(308)包含端部(308A)和隔离端口(304B)。所述导电环(305)包含导电耦合到所述第一线性导电迹线(306)的所述端部(306A)的第一端(318B),以及导电耦合到所述第二线性导电迹线(308)的所述端部(308A)的第二端(316B)。



1. 一种片上定向耦合器,其包括:
  - 第一线性导电迹线,其形成于第一金属层中并且包含端部和耦合端口;
  - 第二线性导电迹线,其与所述第一线性导电迹线间隔开并且平行于所述第一线性导电迹线、形成于所述第一金属层中,并且包含端部和隔离端口;
  - 第一弯曲导电迹线,其形成于第二金属层中,并且包含:
    - 第一端,其导电耦合到所述第一线性导电迹线的所述端部;以及
    - 第二端;以及
  - 第二弯曲导电迹线,其形成于所述第一金属层中,并且包含:
    - 第一端,其导电耦合到所述第一弯曲导电迹线的所述第二端;以及
    - 第二端,其导电耦合到所述第二线性导电迹线的所述端部。
2. 根据权利要求1所述的片上定向耦合器,其进一步包括:
  - 第一通孔,其连接所述第一线性导电迹线的所述端部以及所述第一弯曲导电迹线的所述第一端;以及
  - 第二通孔,其连接所述第一弯曲导电迹线的所述第二端以及所述第二弯曲导电迹线的所述第一端。
3. 根据权利要求1所述的片上定向耦合器,其进一步包括:
  - 信号迹线,其安置在所述第一线性导电迹线、所述第二线性导电迹线、所述第一弯曲导电迹线和所述第二弯曲导电迹线周围,所述信号迹线包含输入端口和输出端口。
4. 根据权利要求3所述的片上定向耦合器,其中所述信号迹线形成于所述第二金属层中。
5. 根据权利要求3所述的片上定向耦合器,其进一步包括:
  - 多个线性导电迹线片段;其中所述导电迹线片段中的每一个:
    - 正交于所述信号迹线;以及
    - 在与所述信号迹线不同的金属层上。
6. 根据权利要求1所述的片上定向耦合器,其中:
  - 所述第一弯曲导电迹线包含垂直于所述第一线性导电迹线和所述第二线性导电迹线的第一导电迹线片段;以及
  - 所述第二弯曲导电迹线包含垂直于所述第一线性导电迹线和所述第二线性导电迹线的第二导电迹线片段。
7. 根据权利要求6所述的片上定向耦合器,其中:
  - 所述第二弯曲导电迹线包含导电耦合到所述第二导电迹线片段并且垂直于所述第二导电迹线片段的第三导电迹线片段。
8. 根据权利要求7所述的片上定向耦合器,其中所述第二弯曲导电迹线包含导电耦合到所述第三导电迹线片段并且垂直于所述第三导电迹线片段的第四导电迹线片段。
9. 一种片上定向耦合器,其包括:
  - 第一线性导电迹线,其包含端部和耦合端口;
  - 第二线性导电迹线,其与所述第一线性导电迹线间隔开并且平行于所述第一线性导电迹线,并且包含端部和隔离端口;以及
  - 导电环,其包含:

第一端,其导电耦合到所述第一线性导电迹线的所述端部;以及  
第二端,其导电耦合到所述第二线性导电迹线的所述端部。

10.根据权利要求9所述的片上定向耦合器,其中所述第一线性导电迹线和所述第二线性导电迹线形成于第一金属层中。

11.根据权利要求10所述的片上定向耦合器,其中所述导电环包含:

第一弯曲导电迹线,其形成于第二金属层中,并且包含:

第一端,其导电耦合到所述第一线性导电迹线的所述端部;以及  
第二端;

第二弯曲导电迹线,其形成于所述第一金属层中,并且包含:

第一端,其导电耦合到所述第一弯曲导电迹线的所述第二端;以及

第二端,其导电耦合到所述第二线性导电迹线的所述端部。

12.根据权利要求11所述的片上定向耦合器,其进一步包括:

第一通孔,其连接所述第一弯曲导电迹线的所述第一端以及所述第一线性导电迹线的所述端部;以及

第二通孔,其连接所述第一弯曲导电迹线的所述第二端以及所述第二弯曲导电迹线的所述第一端。

13.根据权利要求9所述的片上定向耦合器,其进一步包括:

信号迹线,其安置在所述第一线性导电迹线、所述第二线性导电迹线和所述导电环周围;所述信号迹线包含输入端口和输出端口。

14.根据权利要求13所述的片上定向耦合器,其进一步包括:

多个线性导电迹线片段,其经配置以周期性地加载所述信号迹线。

15.根据权利要求9所述的片上定向耦合器,其中:

所述片上定向耦合器中的磁耦合是所述导电环的直径与所述第一线性导电迹线和所述第二线性导电迹线的长度的比率的函数;以及

所述导电环的直径是沿着所述导电环的中心线测量的,所述中心线平行于所述第一线性导电迹线和所述第二线性导电迹线。

16.一种集成电路,其包括:

发射功率放大器,其包含输出;

传输导体,其包含:

第一端,其导电耦合到所述发射功率放大器的所述输出;以及

第二端;

发射端子,其导电耦合到所述传输导体的所述第二端;

定向耦合器,其经配置以检测所述传输导体中的信号,所述定向耦合器包含:

第一线性导电迹线,其形成于第一金属层中,所述第一线性导电迹线包含端部和耦合端口;

第二线性导电迹线,其与所述第一线性导电迹线间隔开并且平行于所述第一线性导电迹线、形成于所述第一金属层中,所述第二线性导电迹线包含端部和隔离端口;以及

导电环,其形成于所述第一金属层和第二金属层中,所述导电环包含:

第一端,其导电耦合到所述第一线性导电迹线的所述端部;以及

第二端,其导电耦合到所述第二线性导电迹线的所述端部。

17. 根据权利要求16所述的集成电路,其中所述定向耦合器进一步包含形成为所述传输导体的一部分的信号迹线,所述信号迹线安置在所述第一线性导电迹线、所述第二线性导电迹线和所述导电环周围。

18. 根据权利要求17所述的集成电路,其进一步包括:

多个线性导电迹线片段;其中所述线性导电迹线片段中的每一个:

正交于所述信号迹线;以及

在与所述信号迹线不同的金属层上。

19. 根据权利要求16所述的集成电路,其中:

所述第一线性导电迹线经配置以向所述导电环提供电流;以及

所述第二线性导电迹线经配置以从所述导电环提供电流。

20. 根据权利要求16所述的集成电路,其中:

所述定向耦合器中的磁耦合是所述导电环的直径与所述第一线性导电迹线和所述第二线性导电迹线的长度的比率的函数;以及

所述导电环的直径是沿着所述导电环的中心线测量的,所述中心线平行于所述第一线性导电迹线和所述第二线性导电迹线。

## 片上定向耦合器

### 背景技术

[0001] 定向耦合器是检测在特定方向上传输的信号功率的装置。定向耦合器用于检测各种射频电路中的信号。定向耦合器包含四个端口。第一端口是从源接收发射信号的输入端口。第二端口是将发射信号提供到目的地的输出端口。当信号从第一端口传播到第二端口时,信号的一部分耦合到第三端口。第三端口是输出从发射信号耦合的信号的耦合端口。第四端口是隔离端口。优选地,没有信号耦合到第四端口。可应用第三端口的输出以测量或控制发射信号的功率,或确定传输信号路径的参数。

### 发明内容

[0002] 本文中描述提供对磁性和电容耦合的独立控制的定向耦合器。在一个实例中,一种片上定向耦合器包含第一线性导电迹线、第二线性导电迹线、第一弯曲导电迹线和第二弯曲导电迹线。所述第一线性导电迹线形成于第一金属层中并且包含端部和耦合端口。所述第二线性导电迹线形成于所述第一金属层中,并且与所述第一线性导电迹线间隔开且平行于所述第一线性导电迹线。所述第二线性导电迹线包含端部和隔离端口。所述第一弯曲导电迹线形成于第二金属层中并且包含第一端和第二端。所述第一端导电耦合到所述第一线性导电迹线的所述端部。所述第二弯曲导电迹线形成于所述第一金属层中并且包含第一端和第二端。所述第二弯曲导电迹线的所述第一端导电耦合到所述第一弯曲导电迹线的所述第二端。所述第二弯曲导电迹线的所述第二端导电耦合到所述第二线性导电迹线的所述端部。

[0003] 在另一实例中,一种片上定向耦合器包含第一线性导电迹线、第二线性导电迹线和导电环。所述第一线性导电迹线包含端部和耦合端口。所述第二线性导电迹线与所述第一线性导电迹线间隔开且平行于所述第一线性导电迹线。所述第二线性导电迹线包含端部和隔离端口。所述导电环包含导电耦合到所述第一线性导电迹线的所述端部的第一端,以及导电耦合到所述第二线性导电迹线的所述端部的第二端。

[0004] 在另外的实例中,一种集成电路包含发射功率放大器、传输导体、发射端子和定向耦合器。所述发射功率放大器包含输出。所述传输导体包含第一端和第二端。所述传输导体的所述第一端导电耦合到所述发射功率放大器的所述输出。所述发射端子导电耦合到所述传输导体的所述第二端。所述定向耦合器经配置以检测所述传输导体中的信号,并且包含第一线性导电迹线、第二线性导电迹线和导电环。所述第一线性导电迹线形成于第一金属层中并且包含端部和耦合端口。所述第二线性导电迹线形成于所述第一金属层中,并且与所述第一导电迹线间隔开且平行于所述第一导电迹线。所述第二线性导电迹线包含端部和隔离端口。所述导电环形成于所述第一金属层和第二金属层中,并且包含第一端和第二端。所述导电环的所述第一端导电耦合到所述第一线性导电迹线的所述端部。所述导电环的所述第二端导电耦合到所述第二线性导电迹线的所述端部。

## 附图说明

- [0005] 图1是常规的定向耦合器的图式。
- [0006] 图2是用于图1的定向耦合器的部分的等效电路的示意图。
- [0007] 图3是提供磁性和电容耦合的独立控制的第一定向耦合器的图式。
- [0008] 图4是展示图3的定向耦合器的性能的图形。
- [0009] 图5是提供磁性和电容耦合的独立控制的第二定向耦合器的图式。
- [0010] 图6是展示图5的定向耦合器的性能的图形。
- [0011] 图7是提供磁性和电容耦合的独立控制的第三定向耦合器的图式。
- [0012] 图8是电路的框图,所述电路包含提供磁性和电容耦合的独立控制的定向耦合器。

## 具体实施方式

[0013] 例如汽车雷达集成电路的射频(RF)集成电路包含内置式自测试系统,所述内置式自测试系统采用片上定向耦合器来验证信号路径组件和连接。常规的片上定向耦合器存在参数相互依赖性的问题,从而导致性能下降,例如电路面积大或方向性低。图1是常规定向耦合器100的图式。常规的定向耦合器100包含导电信号迹线102、导电耦合迹线108、接地平面114和116,以及加载迹线片段118。导电信号迹线102和导电耦合迹线108安置于集成电路的同一金属层上。导电信号迹线102包含输入端口104和输出端口106。导电耦合迹线108包含耦合端口110和隔离端口112。信号在输入端口104处进入导电信号迹线102,并且在输出端口106处离开导电信号迹线102。当信号传播通过导电信号迹线102时,信号的一部分以磁性方式和/或以电容方式耦合到导电耦合迹线108。在耦合端口110处提供耦合信号。

[0014] 接地平面114和接地平面116将导电信号迹线102和导电耦合迹线108与集成电路中的噪声源隔离。接地平面114和接地平面116可形成于与导电信号迹线102和导电耦合迹线108相同的金属层上,和/或形成于除了导电信号迹线102和导电耦合迹线108的金属层之外的金属层上。

[0015] 加载迹线片段118设置在集成电路的除了导电信号迹线102和导电耦合迹线108的金属层之外的金属层上。加载迹线片段118加载导电信号迹线102和导电耦合迹线108以帮助控制寄生电容。

[0016] 图2是用于常规的定向耦合器100的片段120(图1中所示)的等效电路200的示意图。将片段120建模为电感器202和204(L是电感并且k是电感器之间的磁耦合)、耦合电容器206和208(耦合电容 $C_c$ ),以及寄生电容器212(寄生电容 $C_p$ ) 214、216和218。在等效电路200中,k、 $C_p$ 和 $C_c$ 的值是相互依赖的。也就是说,改变片段120的物理参数(例如,导电信号迹线102和导电耦合迹线108的宽度或间隔)不会孤立地改变k、 $C_p$ 或 $C_c$ ,而是改变k、 $C_p$ 或 $C_c$ 中的多于一个。这种相互依赖性限制常规的定向耦合器100的性能。在等效电路200中,特性阻抗( $Z_0$ )是:

$$[0017] \quad Z_0 = \sqrt{Z_e Z_o} \quad (1)$$

[0018] 其中:

[0019]  $Z_e$ 是偶模阻抗;以及

[0020]  $Z_o$ 是奇模阻抗。

[0021] 偶模阻抗是：

$$[0022] \quad Z_e = \sqrt{\frac{(1+k)L}{2C_p}} \quad (2)$$

[0023] 奇模阻抗是：

$$[0024] \quad Z_o = \sqrt{\frac{(1-k)L}{2(C_p + C_c)}} \quad (3)$$

[0025] 偶模阻抗与奇模阻抗的比率是：

$$[0026] \quad \frac{Z_e}{Z_o} = \sqrt{\frac{(1+k)\left(1 + \frac{C_c}{C_p}\right)}{(1-k)}} \quad (4)$$

[0027] 奇模传播常数( $\beta_o$ )与偶模传播常数( $\beta_e$ )的比率是：

$$[0028] \quad \frac{\beta_e}{\beta_o} = \sqrt{\frac{(1-k)\left(1 + \frac{C_c}{C_p}\right)}{(1+k)}} \quad (5)$$

[0029] 在等式(2)到(5)中,因为 $k$ 、 $C_p$ 和 $C_c$ 不是独立的,所以无法独立地设置偶模和奇模阻抗以及传播常数以实现低耦合和高方向性。图3是提供磁性和电容耦合的独立控制的定向耦合器300的图式。定向耦合器300可形成于集成电路、封装衬底、印刷电路板等上。通过磁性和电容耦合的独立控制,定向耦合器300允许独立地设置偶模和奇模阻抗以及传播常数,这允许改进方向性。

[0030] 定向耦合器300包含信号导体302和耦合导体304。信号导体302包含输入端口302A和输出端口302B。耦合导体304包含耦合端口304A和隔离端口304B。经由输入端口302A引入到信号导体302的信号在输出端口302B处离开信号导体302。当信号穿过信号导体302时,信号的一部分以磁性方式和/或以电容方式耦合到耦合导体304中,并且经由耦合端口304A离开耦合导体304。

[0031] 耦合导体304包含线性导电迹线306、线性导电迹线308和导电环305。线性导电迹线306的第一端导电耦合到耦合端口304A,并且线性导电迹线306的第二端306A导电耦合到导电环305。线性导电迹线308的第一端导电耦合到隔离端口304B,并且线性导电迹线306的第二端308A导电耦合到导电环305。线性导电迹线306、线性导电迹线308和导电环305形成变压器状结构,所述结构允许根据导电环305的直径( $d_m$ )与线性导电迹线306和线性导电迹线308的长度( $d_p$ )的比率)控制定向耦合器300中的磁耦合(信号导体302与耦合导体304之间的磁耦合)。如图3中所示,导电环305的直径是沿着中心线319测量的。导电环305反转电流方向,因此导电环305中的电流在与线性导电迹线306和线性导电迹线308中的电流的方向相反的方向上,并且导电环305内的磁通量的极性与线性导电迹线306与线性导电迹线308之间的磁通量的极性相反。

[0032] 线性导电迹线306和线性导电迹线308形成于集成电路的同一金属层中。导电环305的第一部分形成于与线性导电迹线306和线性导电迹线308相同的(第一)金属层中,并且导电环305的第二部分形成于集成电路的不同(第二)金属层中。导电环305包含第一弯曲导电迹线316和第二弯曲导电迹线318。第二弯曲导电迹线318形成于与线性导电迹线306和

线性导电迹线308相同的金属层(第一金属层)中。第一弯曲导电迹线316形成于与第二弯曲导电迹线318不同的金属层(第二金属层)中。第一弯曲导电迹线316包含第一端316A和第二端316B。第二弯曲导电迹线318包含第一端318A和第二端318B。第一弯曲导电迹线316的第一端316A通过通孔310耦合到第二弯曲导电迹线318的第一端318A,所述通孔连接第一弯曲导电迹线316和第二弯曲导电迹线318的金属层。类似地,第一弯曲导电迹线316的第二端316B通过通孔312耦合到线性导电迹线308的第二端308A,所述通孔连接第一弯曲导电迹线316和线性导电迹线308的金属层。第二弯曲导电迹线318的第二端318B耦合到线性导电迹线306的第二端306A。

[0033] 第一弯曲导电迹线316包含耦合到线性导电迹线308的导电迹线片段320,并且可垂直于线性导电迹线306和线性导电迹线308。第二弯曲导电迹线318包含导电迹线片段322、导电迹线片段324和导电迹线片段326。导电迹线片段322可垂直于线性导电迹线306和线性导电迹线308。导电迹线片段326耦合到导电迹线片段322并且可垂直于导电迹线片段322。导电迹线片段324耦合到导电迹线片段326并且可垂直于导电迹线片段326。

[0034] 信号导体302可形成于与第一弯曲导电迹线316相同的金属层、与第二弯曲导电迹线318相同的金属层,或不同金属层中。通过将信号导体302放置在与线性导电迹线306和线性导电迹线308不同的金属层上,可减小信号导体302与耦合导体304之间的耦合电容。接地平面328将信号导体302和耦合导体304与集成电路的其它电路系统隔离。

[0035] 通过提供磁耦合的独立控制,定向耦合器300在比常规的定向耦合器小得多(例如,小60%)的区域中提供改进的方向性(例如,3分贝(dB)的改进)。图4是展示定向耦合器300的实施方案的s参数的图形。图4展示定向耦合器300的实施方案提供:-16dB的耦合(S31)、约34dB的隔离(S41)、具有80千兆赫(GHz)输入信号的17-18dB的方向性(D1、D2),以及从输入端口到输出端口的小于0.48dB的损耗(S21)。

[0036] 图5是提供磁性和电容耦合的独立控制的另一定向耦合器500的图式。定向耦合器500是定向耦合器300的实施方案,并且包含正交于信号导体302安置的额外线性导电迹线片段502。线性导电迹线片段502可耦合到接地平面328。线性导电迹线片段502周期性地加载信号导体302以增加寄生电容( $C_p$ )并且改进隔离和方向性。图5展示定向耦合器500的端口302A、302B、304A及304B可视需要在不同方向上路由,以促进定向耦合器500与集成电路的其它电路系统的连接。

[0037] 图6是展示定向耦合器500的性能的图形。通过线性导电迹线片段502加载信号导体302相对于常规的定向耦合器产生约5dB的方向性改进。在图6中,定向耦合器500的实施方案产生优于20dB的方向性(D1、D2)、小于0.35dB的损耗(S21)、优于16dB的耦合(S31)和优于37dB的隔离(S41)。

[0038] 图7是提供磁性和电容耦合的独立控制的另一定向耦合器700的图式。定向耦合器700是定向耦合器300或定向耦合器500的实施方案,并且包含信号导体702和耦合导体704。耦合导体704包含对应于定向耦合器300的导电环305的导电环705。在定向耦合器700中,导电环705的宽度已经增加(相对于线性导电迹线306和线性导电迹线308的间隔),其中信号导体702围绕导电环705的宽度相应地增加。

[0039] 导电环705可以各种形状提供。举例来说,导电环705可为矩形、八边形、圆形等。类似地,包围导电环705的信号导体702的形状可以各种形状(例如,矩形、八边形、圆形等)提

供。包围导电环705的信号导体702的形状可与导电环705的形状相同或不同。

[0040] 图8是集成电路800的框图,所述集成电路包含提供磁性和电容耦合的独立控制的定向耦合器804。集成电路800可为通信系统集成电路、雷达传感器集成电路或其它集成电路。定向耦合器804可为定向耦合器300或定向耦合器500的实施方案。集成电路800包含发射功率放大器802、传输导体806和发射端子808。发射功率放大器802接收并放大待发射信号。发射功率放大器802包含耦合到传输导体806的端部806A的输出802A。传输导体806可有效地充当定向耦合器804的信号导体。传输导体806的端部806B耦合到发射端子808。发射端子808可为用于将集成电路800连接到封装的集成电路800的输出。定向耦合器804检测传输导体806中的信号,并且将耦合信号提供到集成电路800的电路系统以进行分析和控制。

[0041] 在集成电路800的一些实施方案中,定向耦合器804经设计以与集成电路800的封装结合,使得封装电容包含在定向耦合器的设计中。通过将封装电容包含在定向耦合器804的寄生电容中,可相对于采用并联短柱来谐振出封装电容的设计减少发射信号损耗。

[0042] 贯穿本说明书使用术语“耦合”。所述术语可涵盖实现与本公开的描述一致的功能关系的连接、通信或信号路径。举例来说,如果装置A向控制装置B生成信号以执行动作,则在第一实例中装置A耦合到装置B,或在第二实例中在中间组件C大体上不更改装置A与装置B之间的功能关系,使得装置B经由装置A生成的控制信号而受装置A控制的情况下,装置A通过中间组件C耦合到装置B。

[0043] 在所描述的实施例可能进行修改,且其它实施例在权利要求书的范围内是可能的。

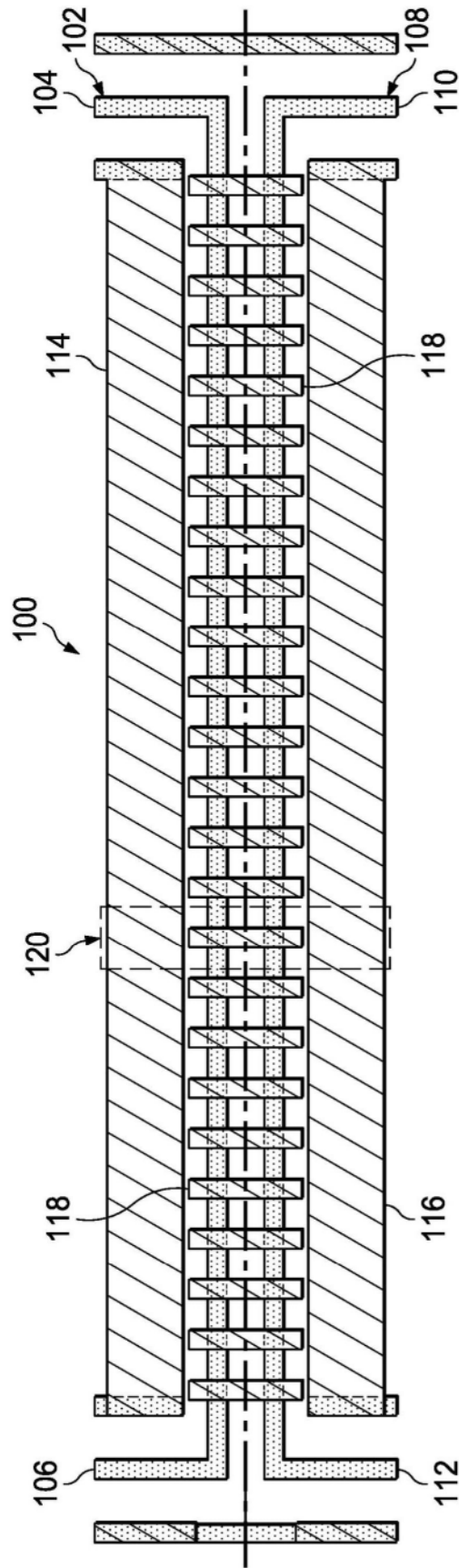


图1

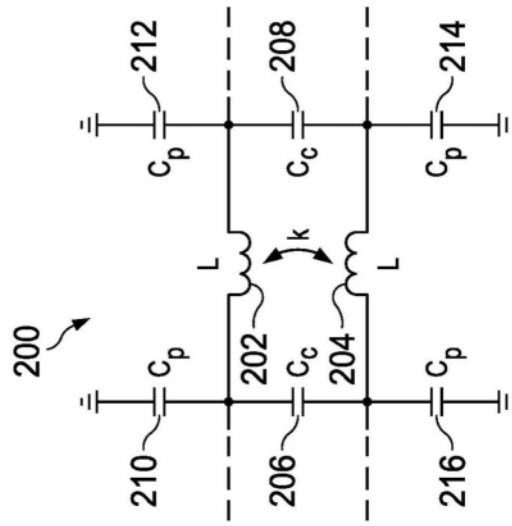


图2

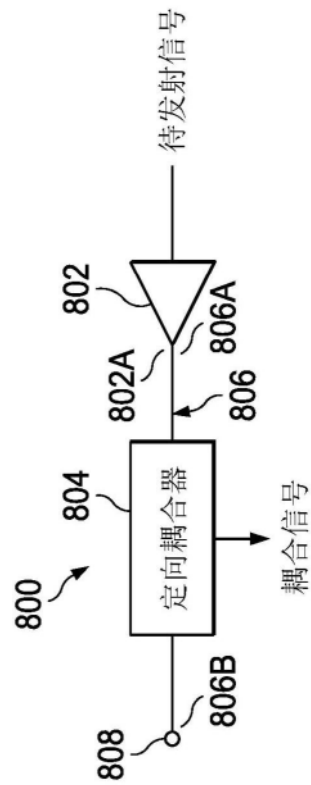


图8

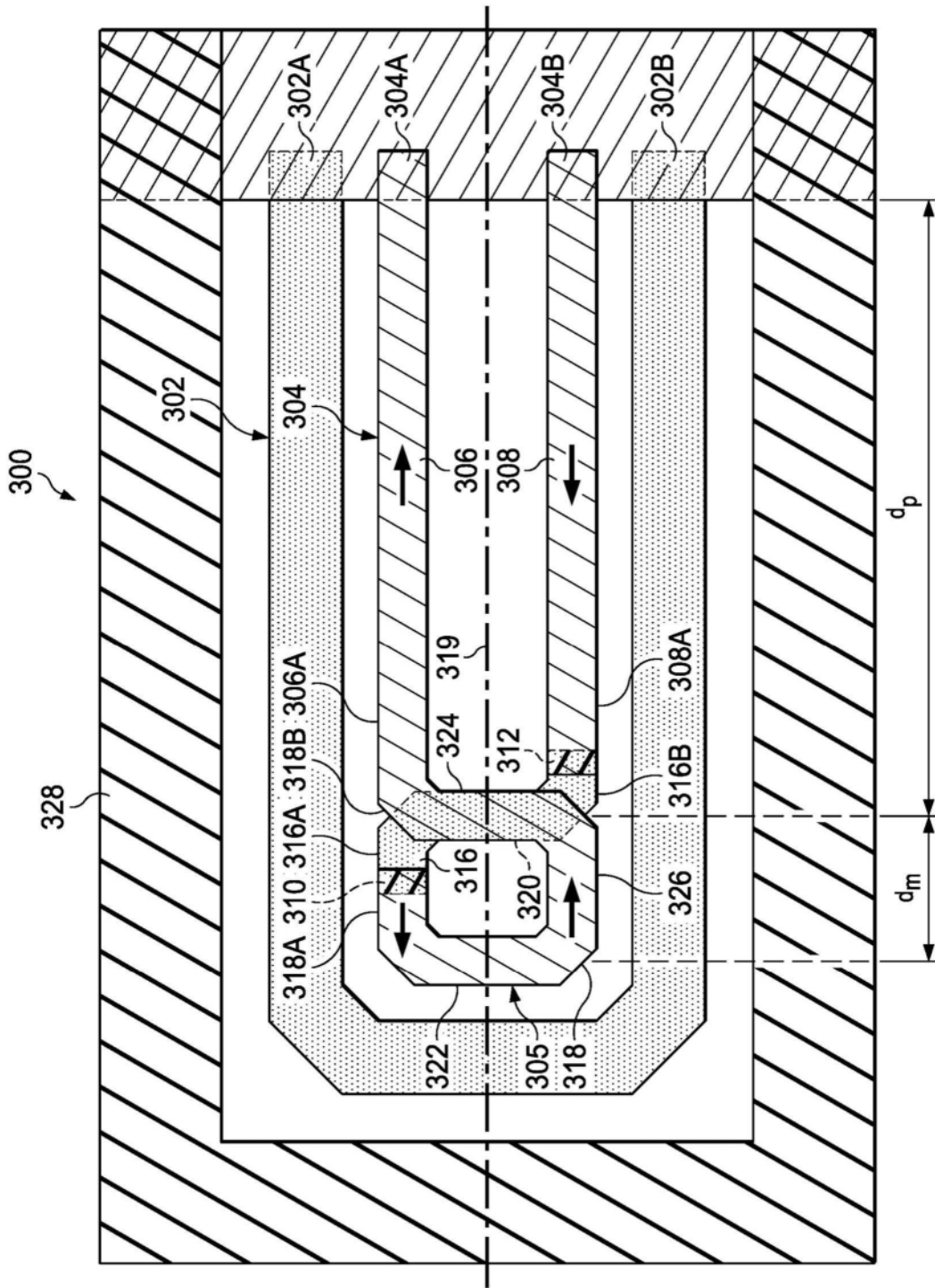


图3

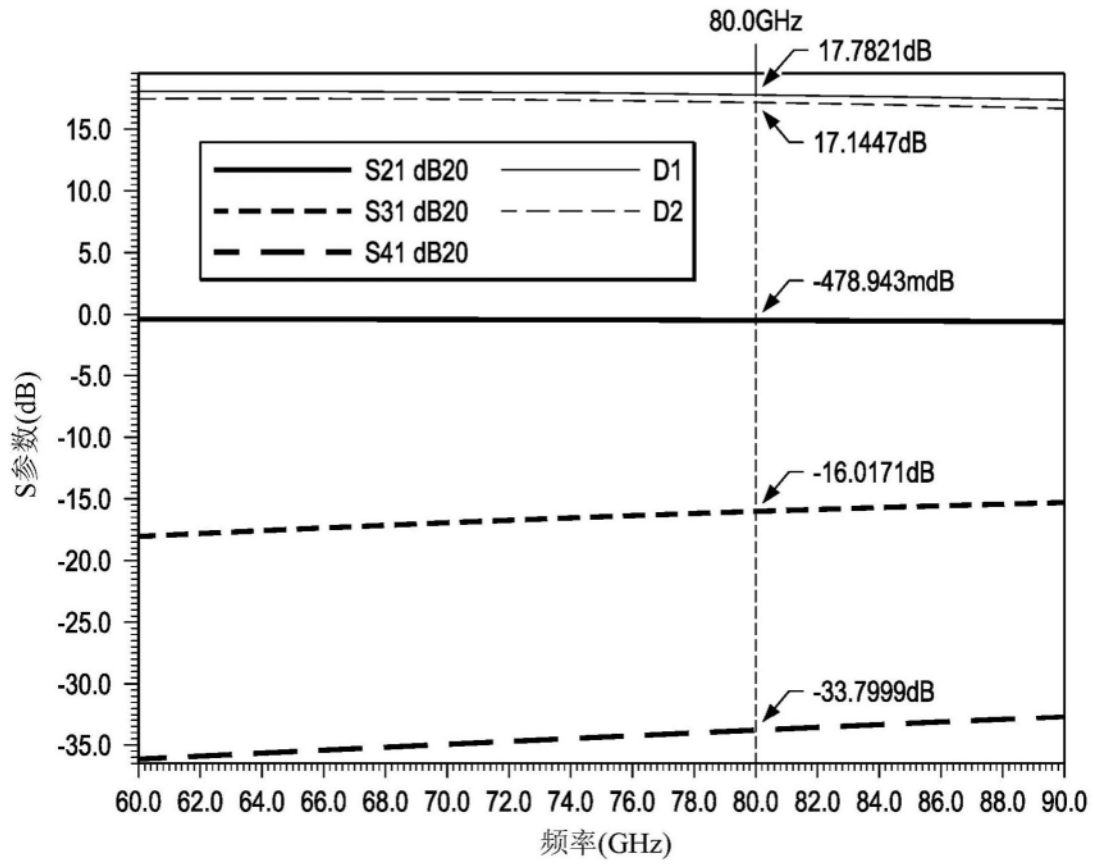


图4

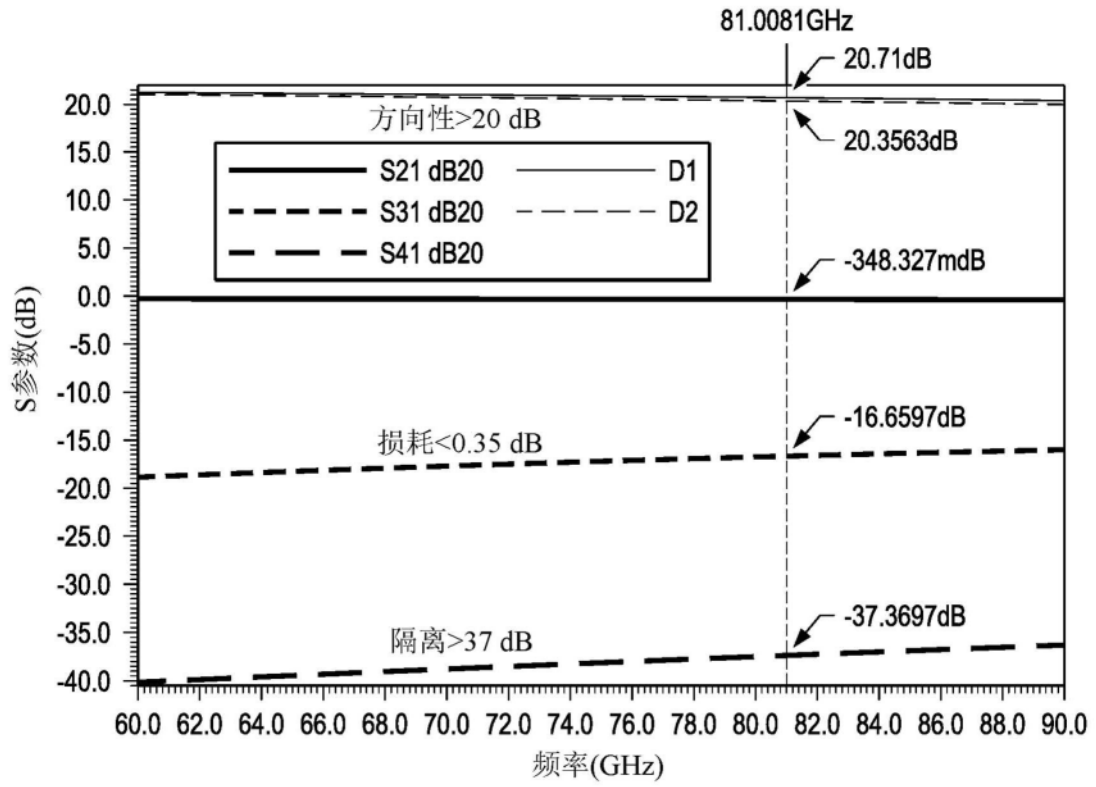


图6

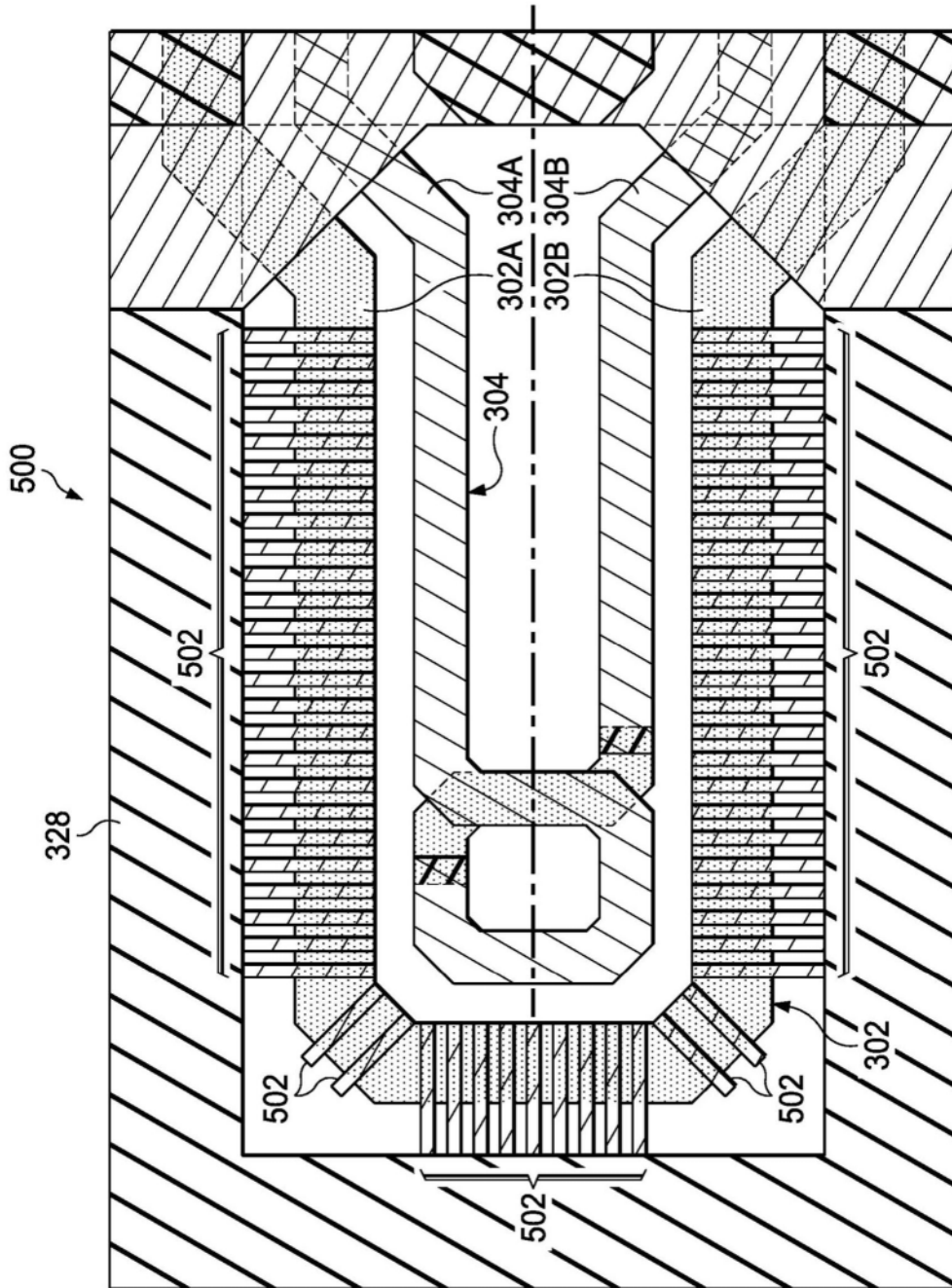


图5

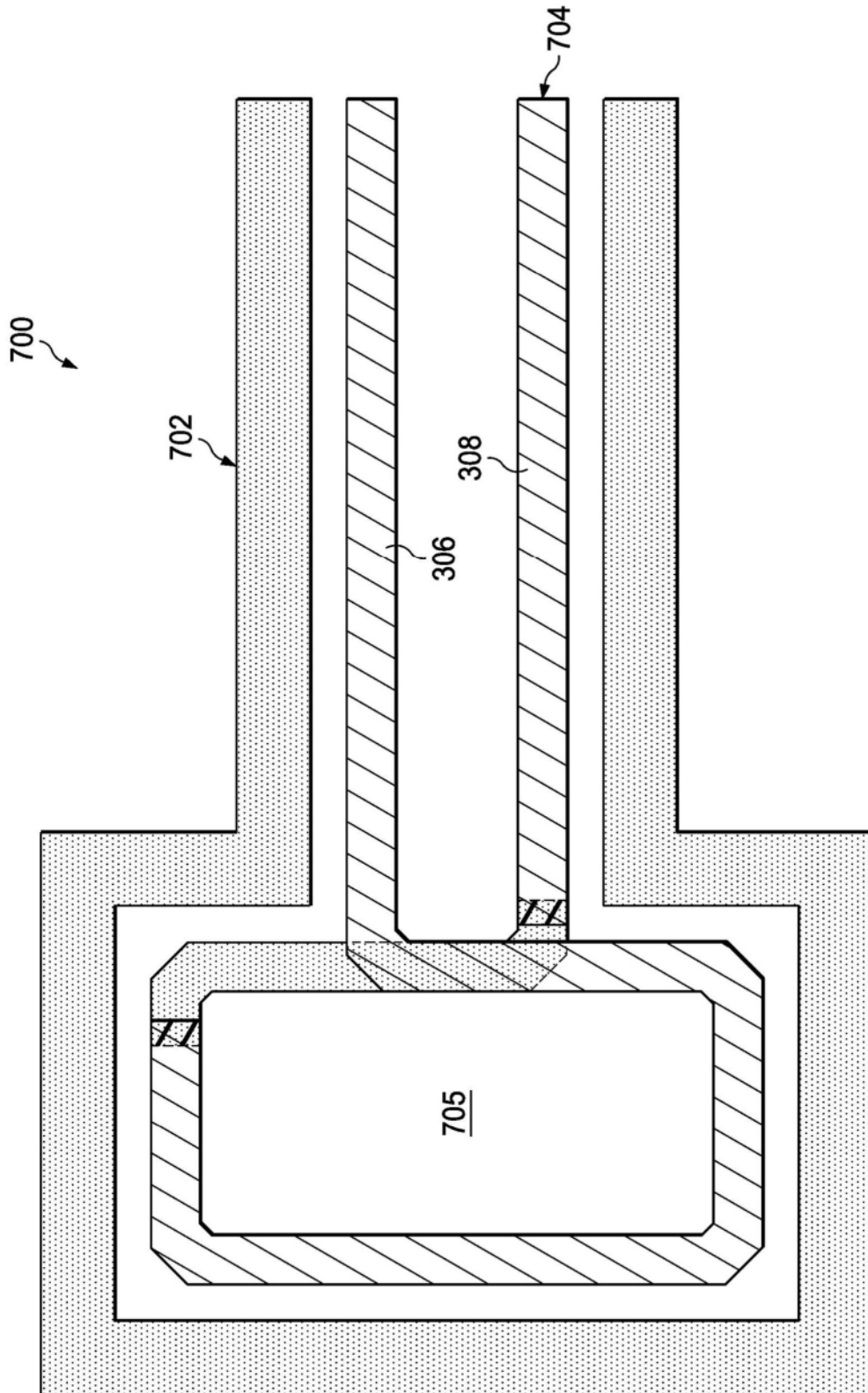


图7