



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110896314 B

(45) 授权公告日 2021.07.30

(21) 申请号 201811051175.X

(22) 申请日 2018.09.10

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110896314 A

(43) 申请公布日 2020.03.20

(73) 专利权人 深圳市环波科技有限责任公司

地址 518000 广东省深圳市龙华区龙华街道清湖社区清湖村宝能科技园9栋7层B座I单元

(72) 发明人 温维佳 吴肖肖

(74) 专利代理机构 石家庄旭昌知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 13126

代理人 张会强

(51) Int. Cl.

H04B 1/40 (2015.01)

(56) 对比文件

CN 106785285 A, 2017.05.31

CN 101299903 A, 2008.11.05

CN 104093270 A, 2014.10.08

US 2006220973 A1, 2006.10.05

US 2017309985 A1, 2017.10.26

张志旺等. 二维声学系统中的拓扑相变及边界传输.《物理》.2017,第46卷(第10期),第677-684页.

审查员 李靖

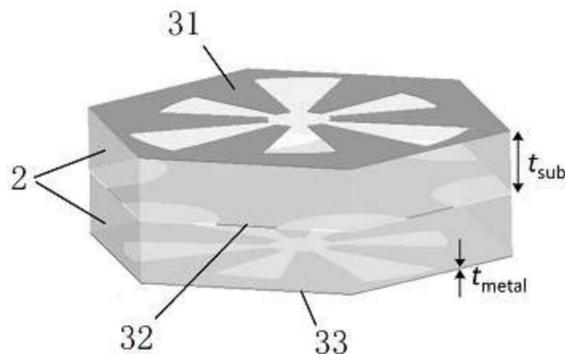
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

电磁波信号跨层传输结构及多层电路层

(57) 摘要

本发明提供了一种基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构、及可实现电磁波信号跨层传输的多层电路层,本发明的电磁波信号跨层传输结构包括构造于多层电路层中的延及多层电路层中的若干层电路层的常规谷-霍尔边界态区域,以及于常规谷-霍尔边界态区域的两侧分别相连设置的、延及相同电路层的层极化谷-霍尔边界态区域;且由两侧层极化谷-霍尔边界态区域的上、下层极化谷-霍尔拓扑态区域的层极化谷-霍尔陈数间的差值正负相反排布,使两侧的层极化谷-霍尔边界态区域的场分别位于若干层电路层中的不同层。本发明的传输结构能够实现电磁波信号的跨层传输,可避免电路层中设置金属导线或金属化孔等立体结构带来的麻烦,因而有着较好的实用性。



1. 一种基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其特征在于:所述电磁波信号跨层传输结构具有能够用能带结构来表征的特性,该能带结构包括:

构造于多层电路层中的至少一常规谷-霍尔边界态区域,所述常规谷-霍尔边界态区域延及所述多层电路层中的若干层电路层,以及于所述常规谷-霍尔边界态区域的两侧分别相连设置的层极化谷-霍尔边界态区域,且所述层极化谷-霍尔边界态区域延及的电路层与所述常规谷-霍尔边界态区域相同;

其中:

所述常规谷-霍尔边界态区域由形成于所述若干层电路层中的不同层、并上下对应的常规谷-霍尔拓扑态区域因接触形成,且上、下的所述常规谷-霍尔拓扑态区域的常规谷-霍尔陈数不同;

所述层极化谷-霍尔边界态区域由形成于所述若干层电路层中的不同层、并上下对应的层极化谷-霍尔拓扑态区域因接触形成,且上、下的所述层极化谷-霍尔拓扑态区域的层极化谷-霍尔陈数不同;

且:

所述若干层电路层不少于二层;

并由两侧所述层极化谷-霍尔边界态区域的上、下所述层极化谷-霍尔拓扑态区域的层极化谷-霍尔陈数间的差值为正负相反排布,而使位于所述常规谷-霍尔边界态区域两侧的所述层极化谷-霍尔边界态区域的场分别位于所述若干层电路层中的不同层;

所述电磁波信号通过所述常规谷-霍尔边界态区域由一侧的所述层极化谷-霍尔边界态区域传输到另一侧的所述层极化谷-霍尔边界态区域,且通过两侧的所述层极化谷-霍尔边界态区域的场位于多层电路层中的不同层,实现电磁波信号于多层电路层中的跨层传输。

2. 根据权利要求1所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其特征在于:所述常规谷-霍尔边界态区域为由所述层极化谷-霍尔边界态区域所隔开、并通过所述层极化谷-霍尔边界态区域相连设置的多个。

3. 一种基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其特征在于:所述电磁波信号跨层传输结构具有如权利要求1或2所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构中的所述能带结构,并包括由上、中、下三层金属层及夹设在每两层所述金属层之间的电介质板构成的本体,所述本体可分割成结构相同的若干单元,各所述单元间以三角晶格排列,且在各所述单元中:

于上层和下层的所述金属层的中部分别构造有具有三重旋转对称性、并贯穿该金属层的孔槽,且上层与下层的所述金属层上的所述孔槽分别具有相对于所述单元的中心、并基于相同基准线的不同角度的旋转;

于中层的所述金属层的各顶角处分别构造有贯穿该金属层的金属层空槽,且各所述单元中、相邻的各所述顶角处的所述金属层空槽拼合成的整体槽体具有三重旋转对称性。

4. 根据权利要求3所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其特征在于:所述孔槽包括位于所述单元中心的具有三重旋转对称性的中心孔。

5. 根据权利要求4所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其特征在于:所述中心孔为圆形、等边三角形、正六边形中的一种。

6. 根据权利要求4所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其特征在于:所述孔槽还包括与所述中心孔连通、并呈辐射状布置的多个条形孔。

7. 根据权利要求6所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其特征在于:所述条形孔为偶数个,且任意相邻的两所述条形孔的长度不同。

8. 根据权利要求3所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其特征在于:相邻的各所述顶角处的所述金属层空槽拼合成的整体槽体为圆形、等边三角形、正六边形中的一种。

9. 根据权利要求3所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其特征在于:相邻的各所述顶角处的所述金属层空槽拼合成的整体槽体为圆形,而各所述顶角处的所述金属层空槽为结构相同的扇形。

10. 根据权利要求3至9中任一项所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其特征在于:所述电介质板的介电常数在1-1000之间。

11. 根据权利要求10所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其特征在于:所述电介质板的厚度在1nm-1dm之间。

12. 根据权利要求3至9中任一项所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其特征在于:所述金属层的材质为铜、银、金中的一种。

13. 根据权利要求12所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其特征在于:所述金属层的厚度在1nm-1dm之间。

14. 根据权利要求3至9中任一项所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其特征在于:相邻的所述单元中心之间的距离在1nm-1dm之间。

15. 一种可实现电磁波信号跨层传输的多层电路层,其特征在于:该多层电路层中具有权利要求3至14中任一项所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构。

## 电磁波信号跨层传输结构及多层电路层

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电磁波信号传输技术领域,特别涉及一种基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,同时,本发明还涉及该电磁波信号跨层传输结构的具体实施结构,以及一种具有该结构的以可实现电磁波信号跨层传输的多层电路层。

### 背景技术

[0002] 现有射频及光子集成芯片一般为多层三维结构,为实现其电路功能,往往需要进行多层电路层间的电磁波信号的传输,而目前这一传输一般是通过金属导线或者金属化孔等其它类似连接结构进行跨层走线,以将芯片中的多层电路层直接连接起来实现的。

[0003] 其中的金属化孔具体而言就是在多层芯片上钻孔,并通过孔金属化工艺在孔壁上镀上铜或其他良导体来实现导电,也就相当于印刷在孔上的金属导线。现阶段应用于射频及光子集成芯片中的金属化孔主要分为通孔、盲孔或者埋孔。对于多层芯片,通孔是从顶层到底层全部贯通,其制作相对简单,但是对不相干的电路层的走线会产生阻碍。

[0004] 相比于通孔,盲孔只从芯片的一侧表面钻入,并不贯通整个芯片,因而在芯片另一侧的表面是不可见的,而埋孔则完全位于芯片内部,在芯片两侧表面完全不可见。由于没有贯通整个芯片,盲孔或埋孔对其他电路层走线的阻碍相对较小,但是其加工工艺却大大复杂,制作成本也显著提高。

[0005] 此外,各种金属化孔也需要精心的设计以避免阻抗不匹配等情况的出现,否则由此导致的反射将增大信号的传输损耗,而降低通讯质量。而直接使用金属导线导电连通各个电路层的设计,也会遇到上述的干扰其他层走线,以及引起反射、降低信号强度等问题。因此设计一种新的电磁波信号层间传输结构,以改善上述问题,便显得尤为必要。

### 发明内容

[0006] 有鉴于此,本发明旨在提出一种基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,以可实现电磁波信号的跨层传输。

[0007] 为达到上述目的,本发明的技术方案是这样实现的:

[0008] 一种基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,所述电磁波信号跨层传输结构具有能够用能带结构来表征的特性,该能带结构包括:

[0009] 构造于多层电路层中的至少一常规谷-霍尔边界态区域,所述常规谷-霍尔边界态区域延及所述多层电路层中的若干层电路层,以及于所述常规谷-霍尔边界态区域的两侧分别相连设置的层极化谷-霍尔边界态区域,且所述层极化谷-霍尔边界态区域延及的电路层与所述常规谷-霍尔边界态区域相同;

[0010] 其中:

[0011] 所述常规谷-霍尔边界态区域由形成于所述若干层电路层中的不同层、并上下对应的常规谷-霍尔拓扑态区域因接触形成,且上、下的所述常规谷-霍尔拓扑态区域的常规谷-霍尔陈数不同;

[0012] 所述层极化谷-霍尔边界态区域由形成于所述若干层电路层中的不同层、并上下对应的层极化谷-霍尔拓扑态区域因接触形成,且上、下的所述层极化谷-霍尔拓扑态区域的层极化谷-霍尔陈数不同;

[0013] 且:

[0014] 所述若干层电路层不少于二层;

[0015] 并由两侧所述层极化谷-霍尔边界态区域的上、下所述层极化谷-霍尔拓扑态区域的层极化谷-霍尔陈数间的差值为正负相反排布,而使位于所述常规谷-霍尔边界态区域两侧的所述层极化谷-霍尔边界态区域的场分别位于所述若干层电路层中的不同层;

[0016] 所述电磁波信号通过所述常规谷-霍尔边界态区域由一侧的所述层极化谷-霍尔边界态区域传输到另一侧的所述层极化谷-霍尔边界态区域,且通过两侧的所述层极化谷-霍尔边界态区域的场位于多层电路层中的不同层,实现电磁波信号于多层电路层中的跨层传输。

[0017] 进一步的,所述常规谷-霍尔边界态区域为由所述层极化谷-霍尔边界态区域所隔开、并通过所述层极化谷-霍尔边界态区域相连设置的多个。

[0018] 相对于现有技术,本发明具有以下优势:

[0019] 本发明的电磁波信号跨层传输结构,由在多层电路层中构造常规谷-霍尔边界态区域以及层极化谷-霍尔边界态区域,并且使得两侧的层极化谷-霍尔边界态区域的场分别位于多层电路层中的不同层。由此,因常规谷-霍尔边界态区域的场本身为分布在多层电路层中的不同层,故此时常规谷-霍尔边界态区域可成为两侧的层极化谷-霍尔边界态区域之间的中介,而通过常规谷-霍尔边界态区域实现电磁波信号从一侧的层极化谷-霍尔边界态区域传输到另一侧的层极化谷-霍尔边界态区域,且经由两侧层极化谷-霍尔边界态区域的场位于多层电路层中的不同层,最终实现电磁波信号在多层电路层中的跨层传输。

[0020] 由于仅需在多层电路层中形成上述常规谷-霍尔边界态区域、及场位于不同层的层极化谷-霍尔边界态区域即可,相较于现有的采用金属导线或金属化孔跨层连接的方式,本发明的传输结构可避免因布线或开孔而对多层电路层内的走线造成影响,且也可避免金属化孔的易引起反射,使信号强度降低等问题,而有着很好的实用性。

[0021] 本发明的另一目的在于提出上述基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构的具体实施结构,该基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构具有如上所述的能带结构,且其包括由上、中、下三层金属层及夹设在每两层所述金属层之间的电介质板构成的本体,所述本体可分割成结构相同的若干单元,各所述单元间以三角晶格排列,且在各所述单元中:

[0022] 于上层和下层的所述金属层的中部分别构造有具有三重旋转对称性、并贯穿该金属层的孔槽,且上层与下层的所述金属层上的所述孔槽分别具有相对于所述单元的中心、并基于相同基准线的不同角度的旋转;

[0023] 于中层的所述金属层的各项角处分别构造有贯穿该金属层的金属层空槽,且各所述单元中、相邻的各所述顶角处的所述金属层空槽拼合成的整体槽体为具有三重旋转对称性。

[0024] 进一步的,所述孔槽包括位于所述单元中心的具有三重旋转对称性的中心孔。

[0025] 进一步的,所述中心孔为圆形、等边三角形、正六边形中的一种。

- [0026] 进一步的,所述孔槽还包括与所述中心孔连通、并呈辐射状布置的多个条形孔。
- [0027] 进一步的,所述条形孔为偶数个,且任意相邻的两所述条形孔的长度不同。
- [0028] 进一步的,相邻的各所述顶角处的所述金属层空槽拼合成的整体槽体为圆形、等边三角形、正六边形中的一种。
- [0029] 进一步的,相邻的各所述顶角处的所述金属层空槽拼合成的整体槽体为圆形,而各所述顶角处的所述金属层空槽为结构相同的扇形。
- [0030] 进一步的,所述电介质板的介电常数在1-1000之间。
- [0031] 进一步的,所述电介质板的厚度在1nm-1dm之间。
- [0032] 进一步的,所述金属层的材质为铜、银、金中的一种。
- [0033] 进一步的,所述金属层的厚度在1nm-1dm之间。
- [0034] 进一步的,相邻的所述单元中心之间的距离在1nm-1dm之间。
- [0035] 本发明上述基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,可通过控制上、下层金属层上的孔槽相对于基准线的旋转角度,而形成常规谷-霍尔拓扑态或层极化谷-霍尔拓扑态,以进而由常规谷-霍尔拓扑态与层极化谷-霍尔拓扑态可获得常规谷-霍尔边界态及层极化谷-霍尔边界态,从而用于实现电磁波信号的跨层传输。
- [0036] 本发明的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构中,仅需在上、中、下金属层上设置孔槽或金属层空槽,电介质板上无需开孔,也不用布线进行不同金属层之间的连接,从而其能够在结构上实现可避免布线或开孔的电磁波信号传输方式,达到简化制作具备跨层电磁波信号传输功能的射频及光子集成芯片所需的工艺的效果,其降低了工艺复杂度,并可降低成本,提高电磁波信号传输的可靠性,而有着很好的实用性。
- [0037] 此外,本发明还提出了一种可实现电磁波信号跨层传输的多层电路层,该多层电路层中具有如上所述的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构。

## 附图说明

- [0038] 构成本发明的一部分的附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:
- [0039] 图1为本发明实施例的本体的结构示意图;
- [0040] 图2为本发明实施例中本体分割出的其中一单元的结构示意图;
- [0041] 图3为本发明实施例中上层金属层的结构示意图;
- [0042] 图4为本发明实施例中中层金属层的结构示意图;
- [0043] 图5为本发明实施例中下层金属层的结构示意图;
- [0044] 图6为 $(\alpha, \beta)$ 相空间中属于层极化谷-霍尔拓扑态的区域以及属于常规谷-霍尔拓扑态的区域示意图;
- [0045] 图7为本发明实施例中 $(\alpha, \beta)$ 的一种具体示例设置方案图;
- [0046] 图8为对图7中示例方案进行模拟获得的场图;
- [0047] 图9为截取图8中上表面上方2mm及下表面下方2mm的场强所得的场强分布图;
- [0048] 图10为以图8中矩形框所围区域为限,实验中对本体实物进行逐点扫场得到的场图;
- [0049] 图11为图10中轴线上的场强分布图;

- [0050] 图12为本发明实施例所述的多次以常规谷-霍尔边界态作为中介时的方案图；
- [0051] 图13为对图12中方案进行模拟得到的场图；
- [0052] 附图标记说明：
- [0053] 1-本体；
- [0054] 2-电介质板；
- [0055] 31-上层金属层,32-中层金属层,33-下层金属层；
- [0056] 41-中心孔,42-条形孔；
- [0057] 5-金属层空槽。

### 具体实施方式

[0058] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本发明中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0059] 下面将参考附图并结合实施例来详细说明本发明。

[0060] 实施例一

[0061] 本实施例涉及一种基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,该电磁波信号跨层传输结构具有能够用能带结构来表征的特性,且具体的该能带结构包括构造于多层电路层中的至少一常规谷-霍尔边界态区域,该常规谷-霍尔边界态区域延及多层电路层中的若干层电路层,以及于常规谷-霍尔边界态区域的两侧分别相连设置的层极化谷-霍尔边界态区域,且层极化谷-霍尔边界态区域延及的电路层与常规谷-霍尔边界态区域相同。

[0062] 其中,上述词汇“延及”是指该边界态(场)区域分布在该若干层电路层中的各层,以构成了对各层间的覆盖。而上述常规谷-霍尔边界态区域由形成于所述的若干层电路层中的不同层、并上下对应的常规谷-霍尔拓扑态区域因接触形成,且上、下的常规谷-霍尔拓扑态区域的常规谷-霍尔陈数不同。层极化谷-霍尔边界态区域则由形成于同样的若干层电路层中的不同层、并上下对应的层极化谷-霍尔拓扑态区域因接触形成,且上、下的层极化谷-霍尔拓扑态区域的层极化谷-霍尔陈数亦是不同的。

[0063] 而进一步的,本实施例中上述多层电路层中的若干层为不少于二层,同时,由两侧的层极化谷-霍尔边界态区域的上、下层极化谷-霍尔拓扑态区域的层极化谷-霍尔陈数间的差值为正负相反排布,也使得位于常规谷-霍尔边界态区域两侧的层极化谷-霍尔边界态区域的场分别位于若干层电路层中的不同层。

[0064] 详细来说,首先本实施例有必要对“常规谷-霍尔(valley-Hall)拓扑态”、“层极化谷-霍尔拓扑态”,以及对应的“常规谷-霍尔边界态”、“层极化谷-霍尔边界态”进行说明。

[0065] 对于常规谷-霍尔拓扑态,谷指周期结构的能带中的极值点,相应的,该能带的贝瑞曲率(Berry curvature)也集中分布在这些谷周围。对这些贝瑞曲率在谷附近的积分给出了该能带的谷陈数(valley Chern number)。如果系统的禁带之下有两条能带,并且这两条能带对应的层赝自旋+1与-1的分支,其谷陈数之差为0,之和不为0,则系统处于常规谷-霍尔拓扑态。

[0066] 层赝自旋+1与-1的分支的谷陈数之和可称为系统的常规谷陈数,之差可称为系统的层谷陈数。

[0067] 对于层极化谷-霍尔拓扑态,如果系统在禁带之下的两条能带对应的层赝自旋+1

与-1的分支,其谷陈数之和(常规谷陈数)为0,之差(层谷陈数)不为0,则系统处于层极化谷-霍尔拓扑态。

[0068] 对于常规谷-霍尔边界态,两个常规谷-霍尔拓扑态的结构相互接触,并且它们的常规谷陈数不相等(例如一个为+1,一个为-1),则由于体-边界对应,它们相互接触的边界上会产生常规谷-霍尔边界态。常规谷-霍尔边界态的特点为边界态(场)在结构的多层之间都有分布,在多个层上都具有这一边界态的存在。

[0069] 对于层极化谷-霍尔边界态,两个层极化谷-霍尔拓扑态的结构相互接触,并且它们的层谷陈数不相等(例如一个为+1,一个为-1),则由于体-边界对应,它们相互接触的边界上会产生层极化谷-霍尔边界态。层极化谷-霍尔边界态的特点为边界态(场)只在结构的某一层有分布,在其他层场信号强度极弱,因此是层极化的。

[0070] 基于上述说明,因而对于本实施例上述的电磁波信号的传输结构,通过使两侧的层极化谷-霍尔边界态区域的场分别位于多层电路层中的不同层,此时,由于常规谷-霍尔边界态区域的场分布在多层电路层中的不同层,故常规谷-霍尔边界态区域可成为两侧的层极化谷-霍尔边界态区域之间的中介,进而通过常规谷-霍尔边界态区域实现电磁波信号从一侧的层极化谷-霍尔边界态区域传输到另一侧的层极化谷-霍尔边界态区域,同时经由两侧层极化谷-霍尔边界态区域的场位于多层电路层中的不同层,以最终实现电磁波信号在多层电路层中的跨层传输。

[0071] 此外,需要注意的是,本实施例中两侧的层极化谷-霍尔边界态区域可为处于常规谷-霍尔边界态区域的两相对侧,常规谷-霍尔边界态区域可为由层极化谷-霍尔边界态区域所隔开,并通过层极化谷-霍尔边界态区域相连设置的多个。如此设置,可在跨层传输的基础上,实现电磁波信号在不同层之间的多次来回跨层跳跃式传输。

[0072] 下面将结合对能够实现上述常规谷-霍尔拓扑态或层极化谷-霍尔拓扑态的结构的说明,来对本实施例上述电磁波跨层传输结构的具体实施结构进行阐述。

[0073] 具体的,结合于图1及图2中所示的,本实施例所涉及的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构,其包括由上、中、下三层金属层,以及夹设在每两层金属层之间的电介质板2构成的本体1,本体1整体呈板状结构,并且本体1也可分割成结构相同的若干单元,被分割成的各单元之间以三角晶格排列,相邻的单元之间的距离、也即晶格常数 $a$ 可为 $1\text{nm}-1\text{dm}$ 之间。

[0074] 本体1中其中一个单元的结构由图2中所示出,其为正六边形结构,以形成各单元之间的三角晶格排列,并从图2中可看出三层金属层、也即上层金属层31、中层金属层32及下层金属层33和两层电介质板2之间的分布。同时,结合于图2所示的,本实施例中各金属层的厚度 $t_{\text{metal}}$ 可为 $1\text{nm}-1\text{dm}$ 之间,而金属层的材质可为铜、银、金等良导体中的一种,电介质板2的厚度 $t_{\text{sub}}$ 可为 $1\text{nm}-1\text{dm}$ 之间,例如其具体可为 $5\text{nm}$ 、 $10\text{nm}$ 、 $15\text{nm}$ 、 $25\text{nm}$ 、 $50\text{nm}$ 、 $100\text{nm}$ 或 $200\text{nm}$ 、 $500\text{nm}$ 、 $1\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m}$ 、 $500\mu\text{m}$ 、 $1\text{mm}$ 、 $2\text{mm}$ 、 $5\text{mm}$ 、 $1\text{cm}$ 、 $2\text{cm}$ 、 $5\text{cm}$ 中的一种,而电介质板2具体也采用介电常数在 $1-1000$ 之间的高频电介质板。

[0075] 本实施例中,仍以所分隔出的其中一个单元为例,并结合于图3至图5中所示的,在各单元中于上层金属层31和下层金属层33的中部分别构造有具有三重旋转对称性,且贯穿其所在金属层设置的孔槽。这里所说的“三重旋转对称性”指一结构单元以其中心旋转 $120^\circ$ 能够重合。而且本发明中该孔槽的一种示例性结构可为图3与图5中所示出为风扇状结构。

[0076] 对于上层金属层31上的风扇状的孔槽,具体的其由位于所处单元中心的中心孔41,以及与该中心孔41连通并呈辐射状均等布置的偶数个条形孔42所构成。其中,中心孔41优选的可采用圆形孔,而对于多个条形孔42,沿单元的径向,各条形孔42由与中心孔41的连通处向外截面可为渐大设置,当然其不为渐大设置,而为等截面的,或在满足三重旋转对称性下设置为其它形式也是可以的。

[0077] 此外,本实施例中任意相邻的两个条形孔42的长度也设计为不同的,由此各条形孔42实际可分为两组。不过,除了使相邻两个条形孔42长度不同,而使各条形孔42的长度相同,且只要使得所构成的孔槽整体满足三重旋转对称性也可。或者,除了如图3或图5中所示的构形,在满足三重旋转对称性的前提下,除了圆形,使得中心孔41为正三角形、正六边形或其它形状,并将条形孔42设置为诸如半圆形等亦是可行的。

[0078] 本实施例下层金属层33上的风扇状的孔槽的结构与上层金属层31上相同,而不同之处在于上、下两侧金属层上的孔槽分别具有相对于单元中心、并基于相同基准线的不同角度的旋转。此时,仍如图3和图5中所示出的,上述基准线可为图中的虚线L,上层与下层的基准线L处于同一竖直面上,而可作为上层孔槽与下层孔槽旋转的相同参照基准。

[0079] 而为了便于对上、下层孔槽旋转量的描述,本实施例中可将两层上孔槽相对于基准线L的相同方向的旋转角度称为 $\beta$ ,相反方向的旋转角度则称为 $\alpha$ 。由此,上层金属层31上的孔槽相对于基准线L的旋转角度具体为 $\beta+\alpha$ ,下层金属层33上的孔槽相对于基准线L的旋转角度具体则为 $\beta-\alpha$ 。

[0080] 除了在上层金属层31和下层金属层33上分别设置有孔槽结构,本实施例在中层金属层32上,于其各项角处则分别构造有同样贯穿其所在金属层的金属层空槽5。同时,各个单元中,相邻的各项角处的金属层空槽5拼合成的“整体槽体”也为具有三重旋转对称性的,此时作为一种示例,相邻的各项角处的金属层空槽5拼合成的整体槽体可为圆形,相应的以图4所示出的,各单元顶角处上的金属层空槽5为结构相同的扇形,各单元的每个顶角处的金属层空槽5与相邻的两个单元上的顶角处的金属层空槽5相接,便拼合形成圆形孔,且于中层金属层32上拼合形成的圆形孔为阵列式布置的多个。

[0081] 本实施例的本体1的结构中,值得注意的是,由于两层电介质板2上没有孔,因而本体1在制作时无需进行钻孔,三层金属层可为镀在电介质板2上,而上、下层金属层上的孔槽以及中间金属层32上的金属层空槽5则可以由印刷电路板的腐蚀方法制作出来,各孔槽与金属层空槽5通过其对应位置处不镀金属实现。由此,整个本体1可利用现有的常规多层印刷电路板的技术进行制备,从而使其制备上也具有工艺简单、成本较低的优点。

[0082] 另外,需要说明的是,对于上层金属层31和下层金属层33上的具有三重旋转对称性的镂空结构,当然其除了为前述的包括中心孔41及条形孔42的风扇状的孔槽结构,使得各单元上的孔槽仅包括具有三重旋转对称性的中心孔41也是可以的,且此时该中心孔41可为圆形、等边三角形或正六边形等具有三重旋转对称性的结构。而对于中层金属层32上的金属层空槽,除了为上述由扇形拼合而成的呈圆形的整体结构,当然相邻金属层空槽5拼合成的整体槽体也可为正三角形、正六边形等其它具有三重旋转对称性的形状,此时拼合形成该整体槽体的各项角处的金属层空槽5的形状相应变化即可。

[0083] 本实施例的本体1中槽与层厚等具体尺寸可由结构的工作频率决定,通过对结构尺寸的放大或缩小,则可使其工作在MHz、GHz等不同的频率的通讯电磁波,以及远红外、太

赫兹、中红外、近红外乃至光学等波段上。

[0084] 仍结合于图1至图5中所示,作为本实施例中的一种具体制备示例,在制作中各正六边形的单元的晶格常数 $a$ 为12mm,电介质板2的厚度 $t_{\text{sub}}$ 为2mm,各金属层的厚度 $t_{\text{metal}}$ 为35 $\mu\text{m}$ ,中心孔41的半径 $R_0$ 为1mm,风扇状的孔槽的扇叶数、也即条形孔42的个数具体为六个,且其中径向较长的条形孔42的半径(以单元中心、也即中心孔41的中心为中心点计) $R_1$ 为5.6mm,径向较短的条形孔42的半径 $R_2$ 为4.6mm,而各条形孔42与中心孔41相连通一端的弧角为 $30^\circ$ ,即较长的条形孔42另一端的弧角为 $30^\circ$ ,较短的条形孔42另一端的弧角也为 $30^\circ$ 。中间金属层32上各项角处的金属层空槽5的半径 $R_c$ 则为2.5mm。

[0085] 如上结构参数制作出的本体1的工作频率在6.70GHz左右,其工作带宽为0.5GHz。而进一步的,通过调整上、下层金属层上的孔槽中的参数 $\alpha$ 和 $\beta$ ,则可使本体1实现具有不同性质的谷-霍尔拓扑态,详细来说,当 $\alpha$ 和 $\beta$ 处于图6指定范围内( $C_L=+1$ 或 $C_L=-1$ )时,可以实现前述的层极化谷-霍尔拓扑态,在其它范围,则可实现前述的常规谷-霍尔拓扑态。

[0086] 仍以采用上述结果参数制作的本体1为例,图6中标出了在 $(\alpha, \beta)$ 相空间中属于层极化谷-霍尔拓扑态的区域,以及属于常规谷-霍尔拓扑态的区域。对于层极化谷-霍尔拓扑态,其由非零的层极化谷-霍尔陈数 $C_L$ 来标定,常规谷-霍尔拓扑态的属性则由常规谷-霍尔陈数 $C_V$ 来标定。

[0087] 对于图6中的 $(\alpha, \beta)$ 相空间而言,图中右侧的层极化谷-霍尔拓扑态的层极化谷-霍尔陈数 $C_L=+1$ ,左侧层极化谷-霍尔拓扑态的层极化谷-霍尔陈数 $C_L=-1$ ,上方常规谷-霍尔拓扑态的常规谷-霍尔陈数 $C_V=+1$ ,下方常规谷霍尔态的常规谷霍尔陈数 $C_V=-1$ 。

[0088] 再由前述的具有不同的层极化谷-霍尔陈数的区域相接触,会产生层极化谷-霍尔边界态,其边界态(场)仅在结构的其中一层(具体为本体1的上层或下层),而具有不同的常规谷-霍尔陈数的区域相接触,会产生常规谷-霍尔边界态,边界态(场)延及分布在结构的多层(也即在本体1的上、下层)。此时,将层极化谷-霍尔边界态和常规谷-霍尔边界态组合在一起,便可实现一种电磁波信号的层间传输结构。

[0089] 此时,为进行模拟及实际验证,对于层极化谷-霍尔边界态和常规谷-霍尔边界态的组合结构,作为其中一种可行方式,可将本体1中上、下层的孔槽中的 $(\alpha, \beta)$ 以图3中所示方案进行设置。图3中标识了各谷-霍尔拓扑态区域对应的 $(\alpha, \beta)$ 的角度,且在各谷-霍尔拓扑态区域,本体1中单元的数量可为一个或者多个,不同区域之间连接在一起,可构成一个整体结构的多层电路层结构。与此同时,在相当于电磁波信号输入端和输出端的区域,边界态均是层极化谷-霍尔边界态,并且通过输入与输出区域的上、下层极化谷-霍尔拓扑态区域的层极化谷-霍尔陈数间的差值为正负相反排布,也即上、下层的 $(\alpha, \beta)$ 的排布相反,以使得层极化谷-霍尔边界态的场在输入端集中于上层,在输出端则集中于下层。

[0090] 两侧的层极化谷-霍尔边界态区域中间的区域为常规谷霍尔边界态,其所形成的场在上、下层均匀分布,因此可起到过渡的作用。对以图3所示方案进行设计的结构进行第一性有限元模拟(采用COMSOL Multiphysics软件)得到的场图如图8所示,通过截取上表面上方2毫米与下表面下方2毫米的场强分布,得到的上方场与下方场沿中轴线( $y=0$ )的场强如图9所示,图中中间区域代表常规谷-霍尔态的区域。从图9中可见,利用常规谷-霍尔边界态区域作为中介,绝大部分电磁波信号实现了从上层到下层的跨越。

[0091] 对于采用前述结构参数制备的实际样品,在实验中通过对图8中矩形框的区域进

行逐点扫场,得到的近场场图如图10所示,其所对应的中轴线上的场强则如图11中所示,由图11可见在实验中绝大部分信号也实现了从上层到下层的跨越,其与模拟结果非常吻合,因此验证了通过谷-霍尔态这一拓扑态能够实现电磁波信号的跨层传输。

[0092] 另外,基于上述的结构,多次利用常规谷-霍尔边界态作为中介,亦可实现如前所述的电磁波信号在上下层之间的来回跳跃传输。此时,相应的设计可如图12中所示,图12中 $(0, 20^\circ)$ 与 $(0, -20^\circ)$ 之间的粗虚线即代表常规谷-霍尔边界态的区域。对于图12所示方案,通过模拟得到的场强图如图13所示。由图13可以看到,电磁波信号在上层输入端被激发并传播,通过第一个常规谷-霍尔边界态的区域后,跳到下层继续传播,通过第二个常规谷-霍尔边界态的区域后,跳回到上层继续传播。最后,通过第三个常规谷-霍尔边界态的区域后,信号又跳到下层继续传播。

[0093] 本实施例的上述电磁波信号在层间的跨层传输,特别是在层间来回低损耗的跳跃,其在常规的多层射频及光子集成芯片中是难以做到的,因而本实施例的由谷-霍尔拓扑态进行电磁波信号的传输,为在射频及光子集成芯片的多层电路层结构中进行电磁波信号的跨层传输提供了一种理想的方案,其无需钻孔,并不会影响芯片电路层中其它区域的走线,因而具有很好的实用性。

[0094] 实施例二

[0095] 本实施例涉及一种可实现电磁波信号跨层传输的多层电路层,在该多层电路层中具有实施例一中的基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构。

[0096] 本实施例的多层电路层在制备时,通过电路板印刷工艺,在设定区域布置可基于电磁波拓扑态的电磁波信号跨层传输结构即可,并且该实现谷-霍尔拓扑态的结构可为在多层电路层中需要进行电磁波信号跨层传输的任意部位布置,其具体成型在该位置处的相邻的若干层电路层中即可,而且该相邻的若干层电路层可为分布在多层电路层的表层处,亦或是分布在多层电路层的中间层。

[0097] 本实施例的多层电路层结构通过采用实施例一的可实现谷-霍尔拓扑态的结构,其一种实施例如可仍为图12中所示,相应的效果则可仍如图13中示出的,且本实施例的多层电路层结构能够在避免开孔及布线的情况下,实现电磁波信号的跨层传输,可简化电路层制备工艺、便于其制造,而有着较好的实用性。

[0098] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

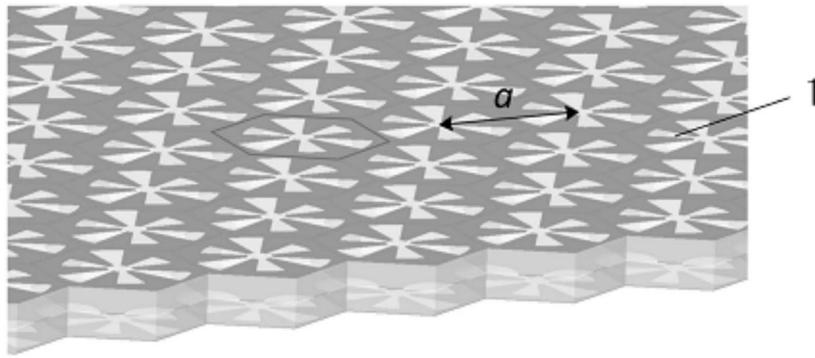


图1

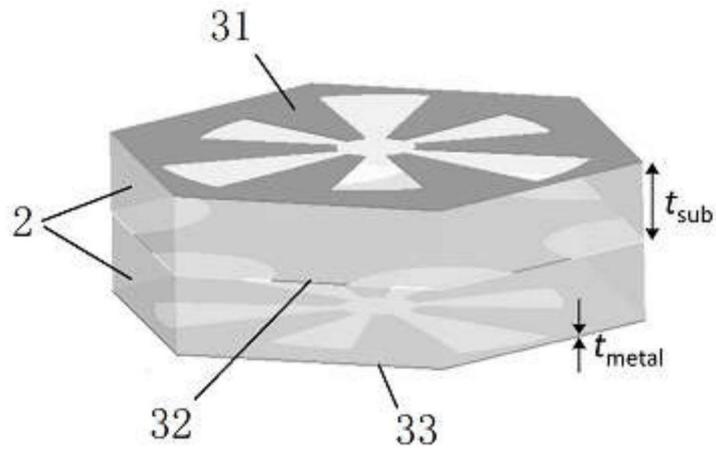


图2

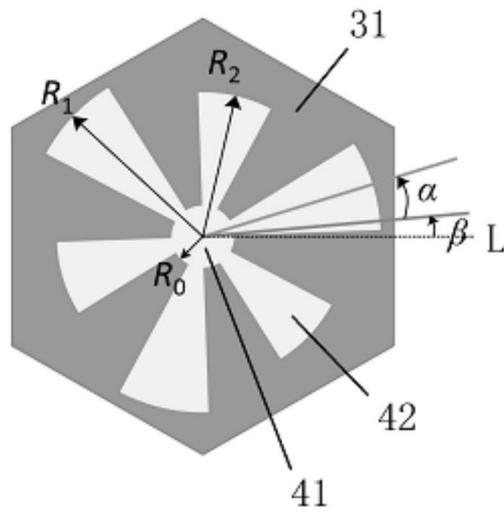


图3

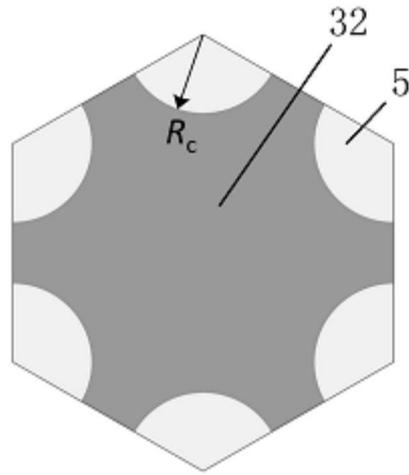


图4

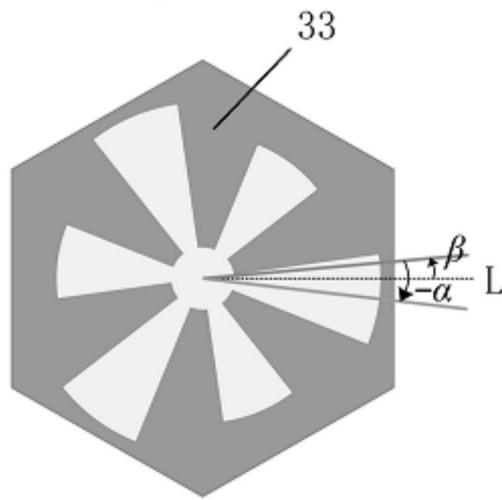


图5

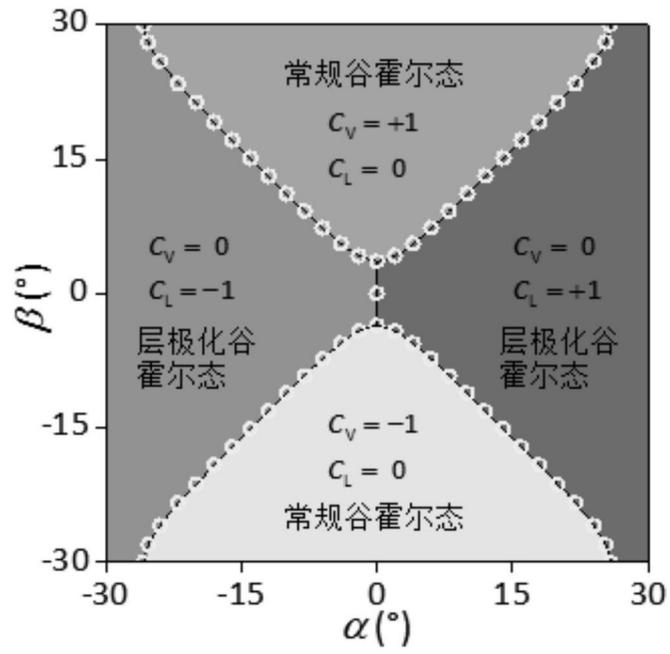


图6

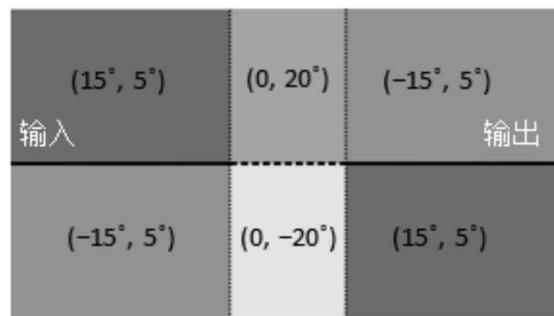


图7

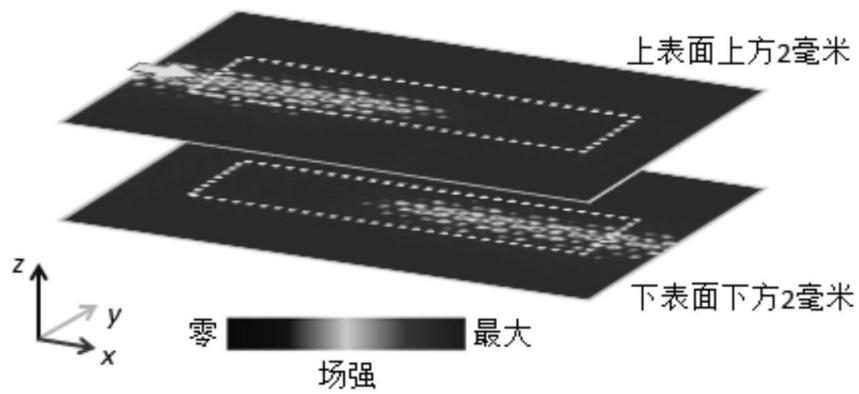


图8

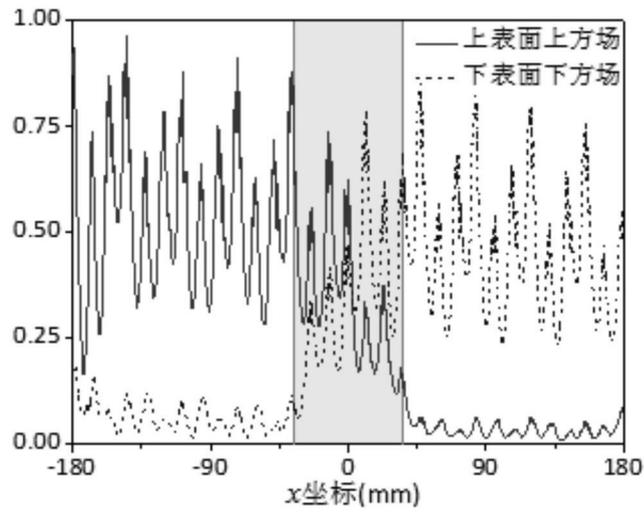


图9

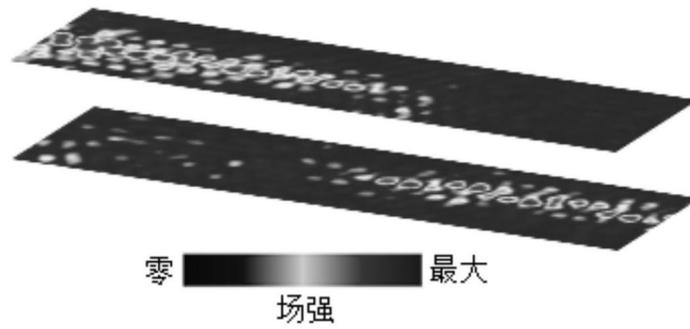


图10

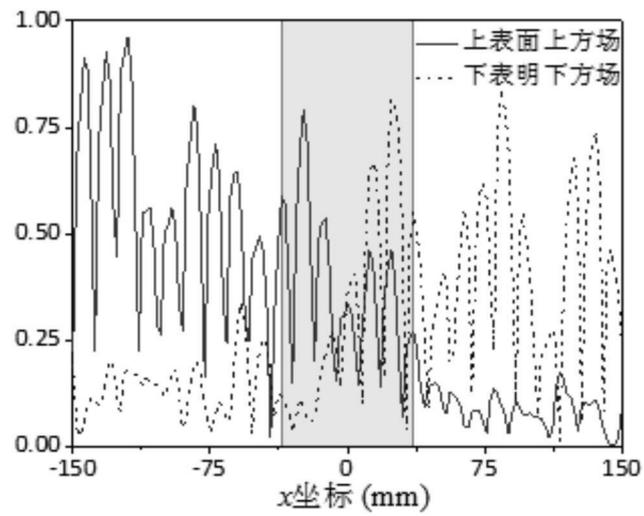


图11

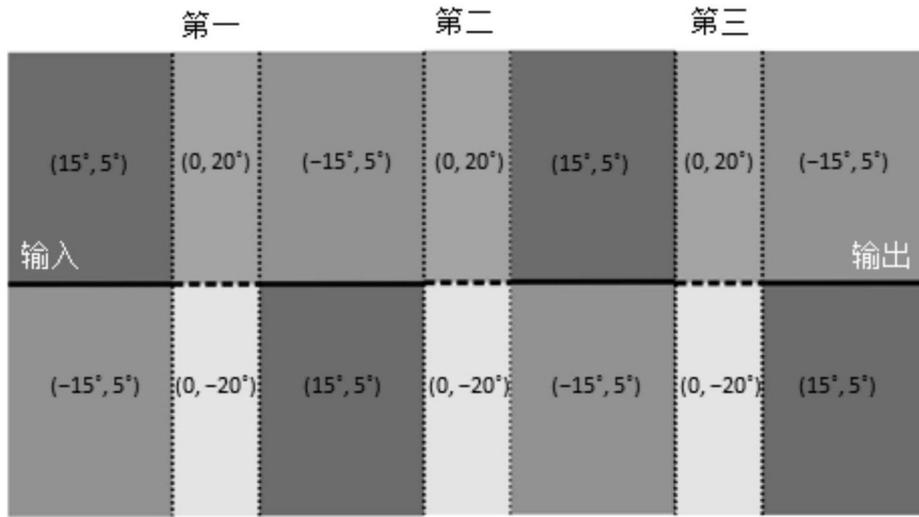


图12

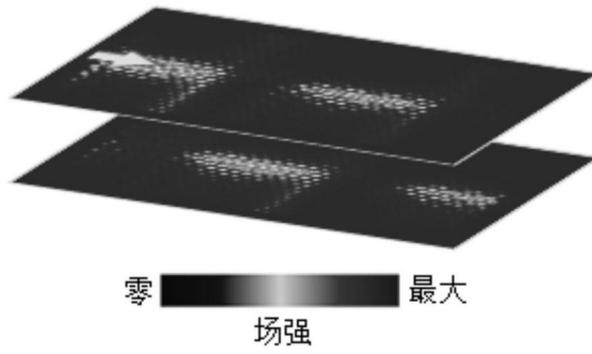


图13