



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105814655 B

(45)授权公告日 2018.08.07

(21)申请号 201480066647.2

(22)申请日 2014.10.01

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105814655 A

(43)申请公布日 2016.07.27

(30)优先权数据

13187538.7 2013.10.07 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2016.06.06

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2014/071079 2014.10.01

(87)PCT国际申请的公布数据

W02015/052059 EN 2015.04.16

(73)专利权人 皇家飞利浦有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72)发明人 J·B·米尔斯

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

代理人 王英 刘炳胜

(51)Int.Cl.

H01F 41/32(2006.01)

H01P 1/19(2006.01)

审查员 黄万国

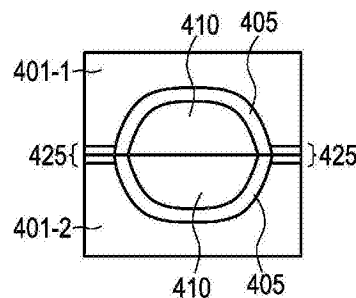
权利要求书4页 说明书21页 附图39页

(54)发明名称

用于制造铁氧体棒的精确批量生产方法

(57)摘要

本发明涉及用于制造铁氧体棒的方法。所述方法包括将腔体蚀刻到两个导体基板中并且将铁氧体层沉积到腔体中。所述半导体基板被附接到彼此以使得铁氧体层形成铁氧体棒。本发明采用常规的对半导体晶片的光刻和体各向同性微工以精确地和可再现地形成模板或模具,磁性材料可以被沉积到其以形成法拉第旋转或相位移元件。



1. 一种制造铁氧体棒的方法,所述方法包括如下步骤:

将第一腔体蚀刻(2690)到第一半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1)的第一表面中;

在所述第一腔体中所述第一半导体基板的所述第一表面上生长第一钝化层(105、205、305、405、605、805、1005、1205);

将第一铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210)沉积(2691)到所述第一腔体中;

将第二腔体蚀刻(2692)到第二半导体基板(401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2)的第二表面中;

在所述第二腔体中所述第二半导体基板的所述第二表面上生长第二钝化层(105、205、305、405、605、805、1005、1205);

将第二铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210)沉积(2693)到所述第二腔体中;

将所述第一半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1)的所述第一表面附接(2694)到所述第二半导体基板(401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2)的第二表面,使得所述第一铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210)与所述第二铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210)相接触,以形成法拉第旋转或相位移动元件。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述的将所述第一腔体蚀刻到所述第一半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1)中以及所述的将所述第二腔体蚀刻到所述第二半导体基板(401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2)中的每者包括:

执行各向同性半导体蚀刻以选择性地移除所述半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1、401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2)的层。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,将所述第一腔体蚀刻到所述第一半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1)中并在所述第一腔体中所述第一半导体基板的所述第一表面上生长第一钝化层(105、205、305、405、605、805、1005、1205)以及将所述第二腔体蚀刻到所述第二半导体基板(401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2)中并在所述第二腔体中所述第二半导体基板的所述第二表面上生长第二钝化层(105、205、305、405、605、805、1005、1205)中的每者包括:

在所述半导体基板上生长临时钝化层(102、204);

将抗蚀剂涂层(103、203、403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203)应用到所述临时钝化层(102、204);

执行光刻和显影步骤以选择性地移除所述抗蚀剂涂层(103、203、403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203);

执行第一蚀刻步骤以选择性地移除所述临时钝化层(102、204);

将所述抗蚀剂涂层(103、203、403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203)从所述临时钝化层(102、204)剥离;

执行各向同性半导体蚀刻以选择性地移除所述半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1、401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2)的层;

剥离所述临时钝化层(102、204);并且

生长最终钝化层(105、205、305、405、605、805、1005、1205)。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述第一蚀刻步骤包括各向异性蚀刻步骤,并且

其中,所述的生长临时钝化层(102、204)包括:

对所述半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1、401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2)进行热氧化,使得所述临时钝化层包括第一氧化物层(102);和/或向所述半导体基板应用低应力低压力化学蒸汽沉积,使得所述临时钝化层包括氮化物层(204)。

5.根据权利要求1所述的方法,其中,所述的将铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210)沉积到所述腔体中包括:

以粉末形式对所述铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210)进行电弧等离子体喷涂;和/或

执行对所述铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210)的湿化学沉积。

6.根据权利要求5所述的方法,其中,所述的将铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210)沉积到所述腔体中还包括:

对所述铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210)进行退火;

对所述铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210)进行化学机械抛光;和/或

对所述铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210)进行热磷酸湿蚀刻。

7.根据权利要求2所述的方法,其中,将所述第一半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1)的所述第一表面附接到所述第二半导体基板(401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2)的所述第二表面包括,针对所述第一半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1)和所述第二半导体基板(401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2)中的至少一个半导体基板进行如下动作:

将抗蚀剂涂层(103、203、403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203)应用到包括所述第一腔体或所述第二腔体的所述半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1、401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2)的表面;

执行光刻和显影步骤以选择性地移除所述抗蚀剂涂层(103、203、403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203);

执行第一蚀刻步骤以选择性地移除所述钝化层(105、205、305、405、605、805、1005、1205)的至少部分;

将所述抗蚀剂涂层(103、203、403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203)从所述半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1、401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2)的所述表面剥离;

组装所述第一半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1)和所述第二半导体基板(401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2),使得各自的所述第一表面和所述第二表面面向彼此。

8.根据权利要求7所述的方法,其中,在剥离所述抗蚀剂涂层之后,所述方法还包括如下步骤:

对所述第一半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1)的所述第一表面进行化学机械抛光;

应用第二抗蚀剂涂层(403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203);

执行光刻和显影步骤以选择性地移除所述第二抗蚀剂涂层(403、503、603、703、803、

903、1003、1103、1203) ; 并且

在组装所述第一和第二半导体基板之后, 对包括所述第一半导体基板 (101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1) 和所述第二半导体基板 (401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2) 的组装的结构进行加热。

9. 根据权利要求8所述的方法, 其中, 在剥离所述抗蚀剂涂层之后, 所述方法还包括如下步骤:

将金和粘附层 (420、720、820、1120) 沉积在所述第二半导体基板 (401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2) 的所述第二表面上;

在选择性地移除所述第二抗蚀剂涂层之后, 对所述金和粘附层 (420、720、820、1120) 进行蚀刻; 并且

剥离所述第二抗蚀剂涂层 (403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203) ;

其中, 所述的对所述组装的结构进行加热包括对所述组装的结构进行加热以创建共熔金: 硅接合 (425、725) 。

10. 根据权利要求8所述的方法, 其中, 在选择性地移除所述第二抗蚀剂涂层之后, 所述方法还包括如下步骤:

将金和粘附层 (420、720、820、1120) 沉积在所述第二抗蚀剂涂层 (403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203) 上以及沉积在所述第二半导体基板 (401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2) 的所述第二表面上; 并且

将所述第二抗蚀剂涂层 (403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203) 剥离;

其中, 所述的对所述组装的结构进行加热包括对所述组装的结构进行加热以创建共熔金: 硅接合 (425、725) 。

11. 根据权利要求7所述的方法, 其中, 在剥离所述抗蚀剂涂层之后, 所述方法还包括如下步骤:

应用第二抗蚀剂涂层 (403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203) ;

执行光刻和显影步骤以选择性地移除所述第二抗蚀剂涂层 (403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203) ; 并且

在组装所述第一和第二半导体基板之后, 对包括所述第一半导体基板 (101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1) 和所述第二半导体基板 (401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2) 的组装的结构应用热和压力。

12. 根据权利要求11所述的方法, 其中, 所述方法还包括如下步骤:

在剥离所述抗蚀剂涂层之后将金和粘附层 (420、720、820、1120) 沉积在各自的所述第一表面或所述第二表面上, 其中, 所述的应用第二抗蚀剂涂层 (403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203) 包括将第二抗蚀剂涂层 (403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203) 应用到所述金和粘附层 (420、720、820、1120) ; 并且

对所述金和粘附层 (420、720、820、1120) 进行蚀刻;

其中, 在对所述金和粘附层进行蚀刻之后, 所述方法还包括剥离所述第二抗蚀剂涂层 (403、503、603、703、803、903、1003、1103、1203) 的步骤;

其中, 所述的将热和压力应用到所述组装的结构包括将热和压力应用到所述组装的结构以创建金: 金接合 (930、1130) 。

13. 根据权利要求7所述的方法, 其中, 在剥离所述抗蚀剂涂层之后, 所述方法还包括: 在各自的所述第一表面或所述第二表面上应用胶粘层(1240); 并且固化所述胶粘层(1240)。

14. 一种铁氧体棒(310、410、610、810、1010、1210), 包括:

第一铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210) 和第二铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210);

其中, 所述第一铁氧体层的第一表面与所述第二铁氧体层的第一表面直接接触, 并且其中, 所述铁氧体棒还包括被分别布置在所述第一铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210)的第二表面处和所述第二铁氧体层(310、410、610、810、1010、1210)的第二表面处的钝化层(105、205、305、405、605、805、1005、1205), 其中, 所述铁氧体棒形成法拉第旋转或相位移动元件。

15. 一种电子设备, 包括:

半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1、401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2); 以及

根据权利要求14所述的铁氧体棒(310、410、610、810、1010、1210);

其中, 所述铁氧体棒(310、410、610、810、1010、1210) 被集成在所述半导体基板(101、201、301、401-1、601-1、801-1、1001-1、1201-1、401-2、601-2、801-2、1001-2、1201-2) 中。

16. 根据权利要求15所述的电子设备, 其中, 所述铁氧体棒被集成在所述半导体基板中。

17. 根据权利要求15或16所述的电子设备, 其中, 所述电子设备包括相位移动设备, 所述相位移动设备包括所述铁氧体棒。

用于制造铁氧体棒的精确批量生产方法

技术领域

[0001] 本发明涉及制造铁氧体棒的方法、涉及铁氧体棒并且涉及用于操纵辐射的相位移动设备。

背景技术

[0002] 通过常规制造方法生产圆柱形铁氧体棒需要昂贵和费力的无中心金刚石研磨以给出光滑壁的圆柱体,其仍需要进一步的金刚石整形以使棒的端部锥形化。每个铁氧体部分必须被个体地研磨,并且要在包含到设备之前以及在使用之前对尺度和表面抛光进行检查。

[0003] US6673181B1公开了一种用于铁氧体芯环的加工过程,其利用具有改进的伸长特性的铁氧体陶瓷带。所述过程利用一组刚性芯棒,所述芯棒在最终的层压中被用于支持各自的铁氧体管的内部腔的矩形横截面,从而降低应力集中并允许在最终的步骤中使用最高层压压力。在面板致密化之前芯棒被移除。所述带和芯棒一起操作以使芯环中的开裂和孔最小化,并且提供了在维持内部腔尺寸以及腔到腔到齐的高容差的增加的优点。

[0004] US 2003/169133 A1公开了一种传输线,包括:第一基部,其具有基板,在所述基板上形成有凹槽;导电膜,其被用作接地电极,形成在包括所述基板的所述凹槽的表面上;以及介电材料,其被设置在所述凹槽部分的所述导电膜上。所述传输线包括:具有另一导电膜的第二基部,其被用作形成在包括所述另一基板的表面上的接地电极;以及另一介电材料,其被设置在所述另一凹槽部分的所述另一导电膜上;以及信号导体,其中,所述信号导体被所述第一基部的介电材料和所述第二基部的介电材料包围。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种经改进的设备布局、经改进的铁氧体棒以及减轻以上问题的生产方法。

[0006] 本发明由以下各方面定义。优先方面提供了有利实施例。

[0007] 在本发明的第一方面中,提供了一种制造铁氧体棒的方法。

[0008] 本发明的方法旨在克服以上描述的制造问题,通过采用对硅或其他半导体、晶片的常规光刻法以及体各向同性微加工来精确地并且重复地形成模板或模具,磁性材料(铁氧体、石榴石、反磁性物质、六角铁氧体等)能够被沉积到所述模板或模具以形成法拉第旋转或相位移动元件。不再需要机械金刚石研磨操作以将磁性材料成形为期望的形式。另外,硅或其他半导体基板以这样的方式被成形以形成从空气填充的波导到铁氧体棒的低损耗介电阻抗变换。这均随着使用常规半导体处理技术和装备的批量生产制造过程而发生。批量处理一次从单对半导体晶片生产许多铁氧体棒样本。通过对光刻掩模组的改变能够做出对磁性设备尺寸的容易的修改。如在Lamb J W(1996)的“Miscellaneous Data on Materials for Millimeter and Submillimeter Optics”(International Journal of Infrared and Millimeter Waves,17(12),第1997-2034页)中公开的数据所示出的,选择

高阻率硅晶片作为基板提供了低介电损耗角切线和约11.7的介电常数的实部,使得其非常接近匹配可能要用于法拉第旋转和相位移动和隔离器应用的磁性材料。可以与对用于钝化的材料和用于微加工的化学材料和/或技术的合适的修改一起使用的高度合适的备选基板材料将是半绝缘砷化镓。根据如下两篇文献:Neidert R E (1980) 的“Dielectric constant of semi-insulating gallium arsenide” (Electronics Letters, 16 (7), 第244-245页) 以及 Moore W J, Holm R T (1996) 的“Infrared dielectric constant of gallium arsenide” (Journal of Applied Physics, 80 (12), 第6939-6942页), 这具有12.9的介电常数的实部,提供了到铁氧体材料的介电常数的更加接近的匹配。备选的基板材料可以还包括钛酸镁 (Mg_2TiO_4 和 MgTiO_3) 以及镁橄榄石 (Mg_2SiO_4)。

[0009] 根据优选的方面,所述的将第一腔体蚀刻到第一半导体基板中以及所述的将第二腔体蚀刻到第二半导体基板中的每者包括:执行各向同性半导体蚀刻以选择性地移除所述半导体基板的层;并且在所述半导体基板上生长钝化层。可以通过执行各向同性半导体蚀刻来将所述腔体蚀刻到第一和第二半导体基板中。各向同性半导体蚀刻特别是指从基板上移除材料而没有优选的方向。各向同性蚀刻可以例如经由使用诸如例如腐蚀性液体或化学活性离子化气体的蚀刻物质的化学过程来执行。对一个或多个) 半导体基板层的选择性移除造成在半导体基板的暴露的表面中的腔体的形成。所暴露的表面可以被钝化,即,使所暴露的表面较少地受诸如空气和水的环境因素影响。钝化优选通过生长钝化层(即,对腐蚀的防护外层)来实现。钝化层例如可以是金属氧化物,优选是二氧化硅。

[0010] 根据另一优选的方面,将第一腔体蚀刻到第一半导体基板中以及将第二腔体蚀刻到第二半导体基板中的每者包括:在半导体基板上生长第一钝化层;向所述第一钝化层应用抗蚀剂涂层;执行光刻和显影步骤以选择性地移除所述抗蚀剂涂层;执行第一蚀刻步骤以选择性地移除所述第一钝化层;将抗蚀剂涂层从所述第一钝化层剥离;执行各向同性半导体蚀刻以选择性地移除所述半导体基板的层;剥离所述第一钝化层;并且生长第二钝化层。光敏膜,主要是抗蚀剂层或抗蚀剂涂层,被涂覆在晶片的顶部上。在一些过程中,抗蚀剂可以充当掩膜以覆盖特定区域。在这种情况下,图样化的抗蚀剂层不会转移到下面的层中。(光刻是指在微加工中用于将薄膜的部分或基板的体块图样化的过程。) 几何图样通过使用例如光而被从光掩膜转移到基板上的光敏化学物质“光抗蚀剂”,或者简称“抗蚀剂”。在显影步骤中,剩余的抗蚀剂被固化。存在若干种方式来移除(或“剥离”)所述抗蚀剂涂层。这些方式包括将抗蚀剂溶解在例如丙酮中。抗蚀剂涂层也可以通过氧等离子体剥离来移除。以类似的方式,钝化层也可以被剥离或移除。

[0011] 根据另一优选的方面,所述的生长钝化层包括对半导体基板进行热氧化,使得所述钝化层包括氧化物层。优选地,借助于热氧化来在半导体基板的表面上产生氧化物(例如,二氧化硅)的薄层。热氧化意指迫使氧化剂在高温(例如,800°C到1200°C)下扩散到基板中并且与其反应。

[0012] 根据另一优选的方面,所述第一和第二半导体基板包括硅。本文中所示的过程流涉及高阻单晶硅晶片。然而,通过对钝化层和蚀刻化学的合适的修改,能够容易地修改一般性原理以使用半绝缘单晶砷化镓晶片或其他半导体基板。例如,当使用诸如钛酸镁 (Mg_2TiO_4 和 MgTiO_3) 或镁橄榄石 (Mg_2SiO_4) 的备选基板材料时,可以通过使用氢氟酸、硝酸以及乙酸的混合物来执行蚀刻。

[0013] 根据另一优选的方面,所述的各向同性半导体蚀刻包括使用二氟化氙(XeF_2)和/或使用六氟化硫(SF_6)/氧气(O_2)等离子体蚀刻。二氟化氙(XeF_2)通常被用作针对硅的各向同性气体蚀刻剂。 XeF_2 的优点在于其具有相对高的蚀刻率。为了对硅进行蚀刻,不需要离子轰击或外部能量源。等离子体蚀刻包括将等离子体的流(这里: SF_6 和 O_2 的合适的混合物)导向到半导体基板处。

[0014] 根据另一优选的方面,所述第一蚀刻步骤包括各向异性蚀刻步骤,并且其中,所述的生长第一钝化层包括:对半导体基板进行热氧化以使得所述第一钝化层包括第一氧化物层;和/或向所述半导体基板应用低应力低压力化学蒸汽沉积,使得所述第一钝化层包括氮化物层。优选地,借助于热氧化在半导体基板的表面上产生氧化物(例如,二氧化硅)的薄层。热氧化意指迫使氧化剂在高温(例如,800℃到1200℃)下扩散到基板中并且与其反应。通过采用化学蒸汽沉积,可以在半导体基板上沉积高纯度、高性能薄膜。在气体氛围压之下(低压力CVD),不期望的气相反应倾向于减少并且跨所述半导体基板的膜均匀性得以改进。氮化物层可以例如是氮化硅层。

[0015] 根据另一优选的方面,所述的将铁氧体层沉积到所述腔体中包括:以粉末形式对铁氧体层进行电弧等离子体喷涂;和/或执行对所述铁氧体层的湿化学沉积。所述铁氧体层可以是以粉末形式被电弧等离子体喷涂到所述腔体上的。在这种情况下,铁氧体粉末被注入到电弧气体流中,其中,铁氧体粉熔融和/或软化并且被朝向半导体基板的腔体推进。电弧等离子体喷涂允许熔融和沉积许多种高熔点材料。备选地,所述铁氧体层可以借助于湿化学沉积被填充到所述腔体中。

[0016] 根据另一优选的方面,所述的将铁氧体层沉积到所述腔体中还包括:对所述铁氧体层进行退火;对所述铁氧体层进行化学机械抛光和/或对所述铁氧体层进行热磷酸湿蚀刻。化学机械抛光包括通过化学和机械力的组合来使铁氧体层表面平滑。换言之,铁氧体层表面通过化学机械抛光而被平面化处理。任选地,磷酸可以被用作湿蚀刻剂,以便使铁氧体层表面平滑。特别地,在对铁氧体层的退火之前执行对铁氧体层的化学机械抛光和/或热磷酸湿蚀刻。任选地,在对铁氧体层的退火之后执行对铁氧体层的化学机械抛光和/或热磷酸湿蚀刻。

[0017] 根据另一优选的方面,将第一半导体基板的第一表面附接到第二半导体基板的第二表面包括,针对所述第一和第二半导体基板的至少一个半导体基板:向包括第一或第二腔体的半导体基板的表面应用抗蚀剂涂层;执行光刻和显影步骤以选择性地移除所述抗蚀剂涂层;执行第一蚀刻步骤以选择性地移除所述钝化层的至少部分;从所述半导体基板的表面剥离所述抗蚀剂涂层;组装所述第一和第二半导体基板,使得各自的第一和第二表面面向彼此。

[0018] 根据另一优选的方面,选择性地移除所述钝化层的至少部分包括在选定的部分中使所述钝化层向下变薄。

[0019] 根据另一优选的方面,所述方法还包括如下步骤:对所述第一半导体基板的第一表面进行化学机械抛光;应用第二抗蚀剂涂层;执行光刻和显影步骤以选择性地移除第二抗蚀剂涂层;并且对包括所述第一和第二半导体基板的组装的结构进行加热。

[0020] 根据另一优选的方面,所述方法还包括如下步骤:在所述第二半导体基板的第二表面上沉积金和粘附层;对所述金和粘附层进行蚀刻;并且剥离所述第二抗蚀剂涂层;其

中,所述的对所述组装的结构进行加热包括对所述组装的结构进行加热以创建共熔金:硅接合(bond)。共熔接合或共熔焊接具有这样的优点:共熔温度能够比金和硅的各自的熔融温度低得多。此外,通过共熔地接合所述第一和第二半导体基板,在单个过程中产生了包括电互连的密封地封装的包装。优选地,所述粘附层例如包括铬、TiW、TiN等。根据该实施例,使用蚀刻步骤来执行共熔接合,其中,金和粘附层被移除以使沉积的铁氧体层暴露。

[0021] 根据另一优选的方面,所述方法还包括如下步骤:将金和粘附层沉积在第二抗蚀剂涂层上以及沉积在第二半导体基板的第二表面上;并且剥除(lift off)所述第二抗蚀剂涂层;其中,所述的对所述组装的结构进行加热包括对所述组装的结构进行加热以创建共熔点金:硅接合。共熔接合或共熔焊接具有这样的优点:共熔温度能够比金和硅的各自的熔融温度低得多。此外,通过共熔地接合所述第一和第二半导体基板,在单个过程内产生了包括电互连的密封地封装的包装。优选地,所述粘附层包括例如铬、TiW、TiN等。根据该实施例,使用剥除步骤来执行共熔接合,其中,第二抗蚀剂涂层被剥除以便从沉积的铁氧体层的表面移除所述金和粘附层。

[0022] 根据另一优选的方面,所述方法还包括如下步骤:应用第二抗蚀剂涂层;执行光刻和显影步骤以选择性地移除第二抗蚀剂涂层;并且将热和压力应用到包括所述第一和第二半导体基板的组装的结构。根据该实施例,所述第一和第二半导体基板通过应用热压接合而被接合。

[0023] 根据另一优选的方面,所述方法还包括如下步骤:将金和粘附层沉积在各自的第一和第二表面上,其中,所述的应用第二抗蚀剂涂层包括将第二抗蚀剂涂层应用到所述金和粘附层;并且对所述金和粘附层进行蚀刻。所述方法还包括如下步骤:剥离所述第二抗蚀剂涂层。所述的将热和压力应用到组装的结构包括将热和压力应用到组装的结构以创建金:金接合。这里,通过同时应用压力和热,使两个金层原子接触。金/金热压接合的优点涉及这样的事实:不需要另外的步骤来实现在第一与第二半导体基板之间的接合。根据该实施例,使用蚀刻步骤来执行金/金热压接合,其中,所述金和粘附层被移除以使所沉积的铁氧体层暴露。

[0024] 根据另一优选的方面,所述方法还包括如下步骤:将金和粘附层沉积在第二抗蚀剂涂层上以及沉积在各自的第一或第二表面上,其中,所述的应用第二抗蚀剂涂层包括将第二抗蚀剂涂层应用到金和粘附层;并且剥除所述第二抗蚀剂涂层;其中,所述的将热和压力应用到组装的结构包括将热和压力应用到组装的结构以创建金:金接合。这里,通过同时应用压力和热,使两个金层原子接触。金/金热压接合的优点涉及这样的事实:不需要另外的步骤来实现在第一与第二半导体基板之间的接合。根据该实施例,使用剥除步骤来执行金/金热压接合,其中,第二抗蚀剂涂层被剥除以便从沉积的铁氧体层的表面移除金和粘附层。

[0025] 根据另一优选的方面,所述方法还包括在各自的第一或第二表面上应用胶黏层;并且固化所述胶黏层。根据该实施例,所述第一和第二半导体基板通过应用粘附接合而被接合在一起。亦即,中间胶黏层被应用到半导体基板表面中的至少一个。粘附接合的一个优点在于相对低的接合温度。此外,不必应用电压和电流。

[0026] 备选的基板材料(模具被蚀刻到其中)可以包括钛酸镁(Mg_2TiO_4 和 $MgTiO_3$)以及镁橄榄石(Mg_2SiO_4),其要用氢氟酸、硝酸和乙酸的混合物来进行蚀刻。

[0027] 在本发明的另一方面中,提供了一种相位移动设备,优选用于操纵具有1GHz以上频率的辐射。所述相位移动设备包括:半导体基板;以及铁氧体棒;其中,所述铁氧体棒被集成在所述半导体基板中。

[0028] 根据本发明的另一优选的方面,所述相位移动设备包括:第一半导体基板和第二半导体基板;以及铁氧体棒;其中,所述铁氧体棒被集成在所述第一和第二半导体基板的各层的至少一个层中。

[0029] 在本发明的另一方面中,提供了一种铁氧体棒。本发明的铁氧体棒旨在克服许多这些可靠性问题,其当前挑战射频(RF)微机电系统(MEMS)设备对于挑战性环境的接受和使用,诸如通过移除所有移动部件并且依赖于材料和设备操作的模式的空间,其已经是空间合格的并且通过提供可变终端阻抗(在相位和/或幅度上可调节)来提供控制微波/毫米波设备的操作频率的手段。所述设备是使用标准半导体工艺技术(光刻、各向异性和各向同性蚀刻、膜敷金属、晶片切割、冲模和晶片接合)来制造和组装的,其同时提供了批量生产和可重复性,连同在制造的设备尺寸上的极高水平的精度并且因此极高水平的操作频率和调谐范围。所述设备没有移动部件并且通过在高反射系数(低损耗)固定位置短路(short-circuit)前面提供可调节相位移动器来操作。也能够生产两个共同定位的分流器和串联可调节短路卡头,也称为E-H调谐器。它们提供生成在史密斯表上找到的任何复反射系数的能力。所述设备可以与高品质因子腔体谐振器集成到一起形成频率灵敏的高选择性滤波器以及其他设备。将所述设备连同高品质因子微加工腔体谐振器和主动(放大)元件一起使用使得能够生产超低相位噪声可调谐谐振器。在所有范例中,包括E-H调谐器,能够在平面电路几何配置中制造。所述相位移动元件能够与波导槽天线组合以提供如由Reggia F、Spencer E G(1957)的“A New Technique in Ferrite Phase Shifting for Beam Scanning of Microwave Antennas”(Proceedings of the IRE,第45卷,11月,第1510-1517页)中所描述的射束操纵。

[0030] 应当理解,如上述各方面描述的制造铁氧体棒的方法、相位移动设备以及铁氧体棒具有如在优先方面中所定义的相似和/或相同的优选实施例。

[0031] 应该理解,本发明的优选实施例也可以是从优先方面或以上实施例与本发明各方面的任意组合。

[0032] 本发明的这些和其他方面将根据下文描述的实施例变得显而易见,并且将参考下文描述的实施例得以阐述。

附图说明

[0033] 在如下附图中:

[0034] 图1A-1I示意性和示范性示出了硅晶片表面中的半圆柱体模具的各向同性蚀刻的实施例,

[0035] 图2A-2I示意性和示范性示出了硅晶片表面中的半圆柱体“模具”的各向同性蚀刻的另一实施例,

[0036] 图3A-3E示意性和示范性示出了当在硅晶片中已经沉积了铁氧体层之后处理硅晶片的实施例,

[0037] 图4A-4H以及图5A-5F示意性和示范性示出了使用蚀刻的共熔接合处理流的实施

例,

[0038] 图6A-6H以及图7A-7E示意性和示范性示出了使用剥除的共熔接合处理流的实施例,

[0039] 图8A-8F以及图9A-9F示意性和示范性示出了使用蚀刻的金/金热压接合处理流的实施例,

[0040] 图10A-10F以及图11A-11E示意性和示范性示出了使用剥除的金/金热压接合处理流的实施例,

[0041] 图12示意性和示范性示出了将晶片胶合在一起的过程流,

[0042] 图13A-13D示意性和示范性示出了针对各向同性的硅蚀刻所需要的硬掩膜以形成半圆柱体的开口的形状,其在端部渐缩为点,

[0043] 图14A-14J以及15A-15G以及16A-16J以及17A-17C示意性和示范性示出了实现微加工非MEMS可调谐可变复阻抗设备的过程流,其中,图16A-16J以及17A-17B示意性和示范性示出了建立梯形波导的实施例,

[0044] 图17C示意性和示范性示出了建立六边形波导的实施例,

[0045] 图18A-18D示意性和示范性示出了针对所描述的各自的过程流步骤的晶片的顶视图,

[0046] 图19A-19D、20A-20D、21A-21C以及22A-22C示意性和示范性示出了“跨导”相位移动器的硅集成版本的实施例,

[0047] 图23A-23E以及24A-24B示意性和示范性示出了如何构建E-H调谐器的实施例,

[0048] 图25A-25C示意性和示范性示出了如何使用包括轴向铁氧体相位移动器波导段连同固定位置短路的设备结构来构建频率灵敏腔体滤波器的实施例,并且

[0049] 图26示意性和示范性示出了制造铁氧体棒的方法的实施例。

具体实施方式

[0050] 由于设备的操作的频率增加,因而其采用的铁氧体元件的物理尺寸必须收缩以便保持在物理尺寸与操作波长之间的期望的关系。Barnes C E (1961) 的“Broad-Band Isolators and Variable Attenuators for Millimeter Wavelengths” (IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques, MTT-9 (6), 第519-523页) 示出了, 为了生产宽带法拉第旋转设备(隔离器、极化器、循环器、开关), 铁氧体棒的直径需要在特定临界值之上以使得铁氧体棒能够用作在混合HE₁₁模式中操作的介电波导, 其中, 法拉第旋转是特别地不依赖频率的。同样地, 需要良好地控制棒的最大直径以防止高阶模式的传播。为了生产所谓的Reggia-Spencer的互易相位移动器, 也称为黛蒙特军械引信实验室(DOFL) 相位移动器(参见Reggia F、Spencer E G (1957) 的“A New Technique in Ferrite Phase Shifting for Beam Scanning of Microwave Antennas”, Proceedings of the IRE, Vol 45 November, 1510-1517), McCarter R S、Landry E F (1961) 的“Ka-Band Ferrite Phase Shifter” (IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 9 (3), 271) 明确提到了, 应当避免法拉第旋转, 这必须使用更小的铁氧体棒半径, 使在毫米波和亚毫米波长处对这样的设备的使用复杂化。McCarter和Landry针对在35GHz处的互易相位移动使用1.527mm直径的铁氧体棒。他们陈述了对于1.654mm和更大的棒直径观察到了法拉第旋

转。通过比较的方式,在W带(75-110GHz)中操作的法拉第旋转极化器,即,在Erickson N R、Grosslein R M(2007)的“A Low-Loss 74-110GHz Faraday Polarization Rotator”(IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques,MTT-55(12),第2495-2501页)描述的频率的超过两倍,使用2.74mm长、1.22mm直径的铁氧体圆柱作为45°法拉第旋转元件。

[0051] 优选地,铁氧体法拉第旋转棒/互易相位移动棒在其端部渐缩为小点和/或由形成阻抗变换器的介电部分紧靠以给出从空气填充的波导部分的逐渐的、因此低反射的阻抗变换。理想地,这样的介电转变渐缩应当具有低的介电损耗角切线以使损耗以及匹配形成法拉第旋转器/相位移动器的铁氧体棒的介电常数的介电常数(ϵ_r')的实部最小化。以毫米波频率操纵的设备将使用具有高饱和磁化的铁氧体,诸如如下中的一种:替位的锂铁氧体、镍锌铁氧体或六角铁氧体材料,经常遇到的 ϵ_r' 的值在12与13之间—参见von Aulock W H ed. (1965)的“Handbook of Microwave Ferrite Materials”(Academic Press-New York& London,第353-394和447-513页)。介电变换器应该与磁性材料具有接近的 ϵ_r' 的值。由Erickson和Grosslein(参见Erickson N R、Grosslein R M(2007)的“A Low-Loss 74-110GHz Faraday Polarization Rotator”,IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques,MTT-55(12),第2495-2501页)构建的法拉第极化器设备具有分离地制造的渐缩陶瓷介电转变和胶合到铁氧体棒的四分之一波长陶瓷板以用作从空气填充的波导到铁氧体法拉第旋转部分的阻抗变换器。在生产DOFL相位移动器中使用了类似的介电阻抗匹配和铁氧体棒在其端部的渐缩—例如,参见Reuss M L Jr. (1964)的“A Study of a Ferrite Phase Shifter”(US Naval Research Laboratory,NRL Technical Report 6112,6月8日)。通过常规制造方法来生产圆柱形铁氧体棒需要昂贵和费力的无中心金刚石研磨以给出光滑壁的圆柱体。这然后经受进一步的金钢石整形以使棒的末端部分渐缩。这么做的时间并且因此花费和难度随着降低铁氧体尺寸而显著增加。每个铁氧体部分必须被个体地研磨并且在被包含到设备中之前以及在使用之前对尺度和表面抛光进行检查。明显的是,进行到更高的操作频率将仅进一步增加制造铁氧体棒的花费和难度。为生产低损耗陶瓷介电阻抗变换器,将要求相同的金钢石加工技术。

[0052] 图1A至图12F示意性和示范性示出了针对磁性材料(例如,铁磁石榴石、(尖晶石)铁氧体、六角铁氧体和反铁磁性物质)的渐缩的(准)圆柱形棒的生产的若干种不同的处理流的截面图描绘。这些棒用于制造法拉第旋转设备以及非法拉第旋转相位移动(互易和非互易)和以微波到亚毫米波频率操纵的吸收设备。所述过程流均示出了高阻单晶硅晶片的使用。然而,通过对钝化层和蚀刻化学的适当的修改,能够容易的修改一般性原理以使用半绝缘单晶砷化镓晶片或其他半导体基板。

[0053] 图1A-1I和图2A-2I示出了对硅晶片表面中的半圆柱体“模具”的各向同性蚀刻的备选途径,铁氧体材料之后要被沉积到所述硅晶片表面中以形成棒,以用作微波/(亚)毫米波长设备。图1A-1I示出了涉及由二氟化氙(XeF_2)对硅晶片的气相各向同性蚀刻以及使用六氟化硫和氧气(SF_6/O_2)的等离子蚀刻的方法。在这两种情况下,热生长的二氧化硅硬掩膜被用于限定将要被蚀刻以形成针对铁氧体棒的半圆柱体“模具”的硅晶片的区域。图2A-2I图示了通过在氢氟酸、硝酸和乙酸的混合物中的湿蚀刻在硅晶片中产生相同的半圆柱体形状的备选方法。在这种情况下,低压力化学气相沉积的氮化硅膜被用作硬掩膜来限定用于蚀刻的晶片的区域。能够在Kovacs G T A、Maluf N I、Petersen K E(1998)的“Bulk

Micromachining of Silicon”(Proceedings of the IEEE,86(8),第1536-1551页)一文中找到典型的蚀刻速率和蚀刻修改,以例如在使用XeF₂时改进经蚀刻的硅表面的平滑度。

[0054] 参考图1A-1I中图示的过程流,图1A示出了硅晶片101,其随后经受热氧化以实现在图1B中图示的结构。如图1B中所示的,在对硅晶片101进行热氧化之后,形成了SiO₂层102。接下来,如图1C中所示,将抗蚀剂涂层103应用到SiO₂层。在应用光刻和显影步骤之后,实现了图1D中所示的结构。接下来,执行各向异性SiO₂蚀刻(参见图1E)并且抗蚀剂103被剥离,使得所得到的结构为图1F中所示的结构。各向同性Si蚀刻步骤使用XeF₂或SF₆/O₂等离子蚀刻来执行(图1G中所示)。在随后的步骤中,剩余的SiO₂被剥离(图1H)。进一步的热氧化步骤产生图1I中所示的结构,其中,示出了SiO₂层105。接下来,如本文中如下所描述的,人们可以选择执行对铁氧体的电弧等离子体喷涂沉积或者选择执行湿化学铁氧体沉积。

[0055] 参考图2A-2I中图示的过程流,图2A示出了硅晶片201,在硅晶片201上生长了氮化硅层204,例如,通过低应力低压力化学气相沉积(LPCVD),以实现图2B中图示的结构。接下来,如图2C中所示的,将抗蚀剂涂层203应用到SiN。在应用光刻和显影步骤之后,实现了图2D中所示的结构。接下来,执行氮化硅蚀刻(参见图2E)并且抗蚀剂203被剥离,使得得到的结构为图2F中所示出的。执行各向同性Si蚀刻,例如,使用HF/HNO₃与水或乙酸(图2G中所示)。在随后的步骤中,剩余的氮化硅被剥离(图2H)。热氧化步骤产生在图2I中所示的结构,其中,示出了SiO₂层205。接下来,如本文中如下所描述的,人们可以选择执行对铁氧体的电弧等离子体喷涂沉积或者选择执行湿化学铁氧体沉积。

[0056] 无论所使用的各向同性硅蚀刻方法,图13A-13D示出了各向同性的硅蚀刻中所需要的硬掩膜中的开口的形状,以形成在端部渐缩为点的半圆柱体。

[0057] 图13A图示了硅晶片在各向同性蚀刻之前的顶视图,其中,硬掩膜1305使硅1301的选定的部分暴露。图13B图示了在各向同性蚀刻之后的硅晶片的侧视图。图13C图示了在各向同性蚀刻之后的硅晶片的端部截面图。两个晶片1301-1、1301-2被处理为使得一当一起对齐时—它们产生在任一端渐缩到点的两个圆柱(即,圆锥),如图13D中所示。

[0058] 在通过两种各向同性硅蚀刻过程流中的任一种制造了半圆柱体“模具”之后,磁性材料310被沉积到“模具”中(参见图3A)。两种方法在本文中具体命名为以粉末形式对磁性(铁氧体)材料310的电弧等离子体喷涂(APS)和湿化学沉积。著作有Babitt R W(1972)的“Arc Plasma Deposition of Nickel Zinc Ferrites”(Research and Development Technical Report ECOM-3597,United States Army Electronics Command-Fort Monmouth New Jersey USA);Babbitt R W(1976)的“Arc Plasma Fabrication of Ferrite-Dielectric Composites”(American Ceramic Society Bulletin,1976年6月,566-568);Babitt R W、Stern R A(1979)的“Fabrication and Performance of Ferrites Phase Shifters for Millimeter Frequencies”(IEEE Transactions on Magnetics, MAG-15(6),第1744-1746页);Kaelberer R E、White G O、Patton C E(1977)的“Microwave Properties of Arc Plasma Sprayed Lithium Ferrites”(Journal de Physique, Colloque CI supplement 4tome 38,CI-255),已经示出高达1.018mm(0.04英寸)厚的设备质量层可以被APS沉积到经加热的基板上。描述了使用成对的微加工的硅晶片的铁氧体棒生产的方法。因此,单个约1.0mm厚的APS沉积的铁氧体层310使得能够使用这样涂覆的晶片,产生具有2.0mm或更大的直径的棒。以在先前的部分中给出的实际设备尺寸的形式,具

有这样的尺寸的棒的生产将使得能够生产在30GHz之下和之上的频率操纵的设备。优选地,针对APS铁氧体沉积使用的基板具有高的熔点,足够承受在约1000℃以及更高的温度的沉积后铁氧体退火,这对获得期望的磁性质是必要的。具有1414℃的熔点的单晶硅晶片满足这要的要求。适当的APS处理条件,诸如铁氧体粉末制备方法、颗粒尺寸、类型(氩气、氮气、其他)和电弧气体的流速、到硅晶片的喷涂距离、在喷涂期间晶片的温度和退火温度、时间以及气体氛围都是要考虑的因素,参见Babitt R W(1972)的“Arc Plasma Deposition of Nickel Zinc Ferrites”(Research and Development Technical Report ECOM-3597, United States Army Electronics Command-Fort Monmouth New Jersey USA)。

[0059] 作为铁氧体沉积的另一种方法,能够使用湿化学处理来在半圆柱体“模具”中建立铁氧体材料310的层。Wade W、Collins T、Malinofsky W W、Skudera W(1963)的“Chemically Deposited Thin Ferrite Films”(Journal of Applied Physics,34(4) — 第2部分,第1219-1220页);Wade Jnr W L、Collins T、Skudera Jnr W J、Stern R(1965)的“Chemically-Deposited Thin Ferrite Films”(IEEE Transactions on Parts, Materials and Packaging,PMP-1(3),第26-31页)描述了合适的沉积方法,其使用液体硝酸盐前驱体以期望的最终铁氧体材料的合适的化学计量比混合并且利用甲醇稀释。所得到的溶液然后能够以薄膜被沉积到热氧化的硅晶片上。归因于在晶片中各向同性蚀刻的“模具”的半圆柱体形状,可能优选的是将溶液喷涂到晶片上而非旋转涂覆或浸涂。在晶片被利用化学计量比的硝酸盐溶液涂覆之后,根据Wade W、Collins T、Malinofsky W W、Skudera W(1963)的“Chemically Deposited Thin Ferrite Films”(Journal of Applied Physics,34(4) — 第2部分,第1219-1220页);Wade Jnr W L、Collins T、Skudera Jnr W J、Stern R(1965)的“Chemically-Deposited Thin Ferrite Films”(IEEE Transactions on Parts, Materials and Packaging,PMP-1(3),第26-31页)的在400℃与700℃之间的对晶片的初始热处理,将硝酸盐转换为氧化物。涂覆和氧化流程然后被重复直到达到了期望的铁氧体层厚度。在这一点上,硅晶片与其金属氧化物涂覆然后以900℃与1200℃之间的高温退火,在针对最终期望的材料的合适的气体氛围中(例如,空气、纯氧、氮气等)若干小时。这里没有指定处理条件的准确集合—最佳条件将是铁氧体材料特异性的。在高温退火之后,金属氧化物反应以形成最终的铁氧体材料310。作为合适的备选,van de Leest R E、Roozeboom F(2002)的“Nickel-zinc ferrite films by rapid thermal processing of sol-gel precursors”(Applied Surface Science,187,第68-74页)一文已经展示了针对在热氧化的硅晶片上生长镍锌铁氧体的乙醇溶胶凝胶过程。该方法具有这样的优点:前驱体膜的转变能够作为对在常规熔炉中或者通过快速热处理的热退火的备选,通过对紫外光的选择性曝光来完成。非紫外线曝光的膜随后能够通过酸-乙醇溶液从晶片表面移除。通过使用合适的掩膜材料,铁氧体沉积可以完全被限定在硅晶片表面中的半圆柱体“模具”中。这对于铁氧体材料310跨整个晶片表面的大面积沉积是有吸引力的备选,大面积沉积然后需要如图3B和3E中所示的平面化处理。

[0060] 应当指出,本文中未提及其他铁氧体沉积方法,诸如化学气相沉积、溅射、脉冲激光消融等,但是并非通过忽略它们而特别地将其排除,而是也可以进行尝试。

[0061] 在铁氧体310(参见图3A)沉积之后,在硅晶片301中的半圆柱体“模具”将完全被铁氧体材料310填充,并且另外,将在晶片301的平的未蚀刻的区域上存在不想要的铁氧体沉

积。该额外的铁氧体必需被移除(平面化),留下仅半圆柱体“模具”被填充的平的晶片表面。图3A-3E图示了实现该操作的两种途径。第一选项(图3A-3D-3E)涉及首先利用要根据沉积的特定材料(图3D)优化的温度、时间和退火气体氛围来对全部的沉积的铁氧体材料310进行退火。这然后跟随有(化学)机械抛光和/或使用热磷酸对铁氧体材料310的湿蚀刻,以将设备平面化处理回热氧化的硅晶片表面的水平,如图3E中所示—参见Carter J L、Edwards Jr.E V、Reingold I(1959)的“Ferrite Sphere Grinding Technique”(Review of Scientific Instruments,30,第946-947页),Pierce A L(1961)的“Polishing Technique for Garnet Spheres”(IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques,MTT-9(3),第266-267页)和Basterfield J(1969)的“The chemical polishing of yttrium iron garnet”(British Journal of Applied Physics,2(2),第1159-1162页)。对铁氧体材料的常规粗研磨的效果的在先研究表明,使造成的表面损坏和诱发的铁氧体材料中的应力对微波损耗具有负面效果,参见Green J J、Patton C E、Sandy F(1968)的“Microwave Properties of Partially Magnetized Ferrites”(Rome Air Development Centre, RADC-TR68-312),并且也还将造成材料的磁化的改变—参见Knowles J E(1975)的“The Origin of the Increase in Magnetic Loss Induced by Machining Ferrites”(IEEE Transactions on Magnetism,MAG-11(1),第44-50页)以及Broese van Groenou A(1975)的“Grinding of Ferrites,Some Mechanical and Magnetic Aspects”(IEEE Transactions on Magnetism,MAG-11(5),第1446-1451页)。出于这些原因,在平面化处理之后对铁氧体310的退火(从图3B到图3C的转变以及从图3A到图3D的转变)可以是设备制造的优选的路径,因为在对铁氧体310的化学机械抛光和/或热磷酸湿蚀刻(图3A与3B之间以及图3D与3E之间的转变)期间由(化学)机械抛光和/或磷酸蚀刻造成的对材料性能的任何不期望的改变,能够通过平面化后退火来修正。铁氧体材料310的第二退火也可以在对铁氧体310的化学机械抛光和/或热磷酸湿蚀刻(图3D与3E之间的转变)后采用。然而,这将更倾向于引起晶片层301上的二氧化硅305进一步变厚,其将需要在随后的步骤中被蚀刻或机械的研磨回去。

[0062] 当在过程流中已经实现了图3C和3E中示出的结构之后,硅晶片301包含经退火的磁性材料310的半圆柱体(在其端部渐缩为点),磁性材料310已经被平面化处理而晶片301的剩余部分已经利用稳定的、低损耗热二氧化硅层305被钝化。在这一点上,考虑了用于组装这样的晶片301对以形成固体圆柱体铁氧体棒的若干种不同的方法。这些方法能够被分成两个主组,亦即,胶合以及基于金的晶片接合,其自身能够被细分为两种方法。它们是金/硅共熔接合以及金/金热压接合。在两种情况下,共熔和热压接合,根据金和(一个或多个)薄膜粘附层是否已经通过使用剥除过程或者通过蚀刻而在晶片表面上被限定,提出了两个进一步的子处理流。总共而言,这得到针对最终的铁氧体棒的组件的五个不同的过程流。

[0063] 对于共熔接合,使用剥除(图6和图7)或蚀刻(参见图4和图5),两个晶片被彼此略微不同地处理,得到晶片接合之后略微不对称的铁氧体圆柱。晶片中的一个经受研磨/化学机械抛光(参见图4B)以从晶片401-1移除铁氧体410和热二氧化硅405的薄层。第二晶片401-2在除了紧邻铁氧体半圆柱体的所有区域经受热二氧化硅膜的各向异性蚀刻。这具有这样的效果:略微降低了晶片的高度,留下铁氧体半圆柱体以及其热二氧化硅“班轮状”(liner)略微立出于晶片表面。这被完成为使得用于共熔接合的随后沉积的(一个或多个)

薄膜粘附层,例如铬、铌、钼或钛钨和金层,不高于铁氧体半圆柱体的最外表面(参见图5D和图7C)。这意味着,当两个晶片被接合在一起时(即,图5E/5F和图7D/7E),在晶片接合之后,在两个铁氧体半圆柱体之间没有气隙。没有这样的处理,晶片将共熔地接合到一起,但是将不会有二个铁氧体半圆柱体之间的紧密接触。

[0064] 参考图4A-4H以及图5A-5F中图示的使用蚀刻的共熔接合过程流,图4A示出了第一硅晶片401-1,其包括经退火的磁性材料410的半圆柱体(在其端部渐缩为点),所述经退火的磁性材料410已经被平面化,而晶片401-1的剩余部分已经利用稳定的、低损耗热二氧化硅层405被钝化。化学机械抛光的步骤产生图4B中示出的结构。第二硅晶片401-2(图4C中所示),类似于第一硅晶片401-1,包括已经被平面化的经退火的磁性材料410的半圆柱体(在其端部渐缩为点)。晶片401-2的其余部分已经利用稳定的、低损耗的热二氧化硅层405被钝化。图4D示出了在应用了抗蚀剂涂层403之后的硅晶片401-2。通过使晶片经受光刻和显影步骤,抗蚀剂涂层403如图4E中所示的被选择性地移除。接下来,通过各向异性二氧化硅蚀刻,SiO₂层405如图4F中所示的至少部分地被选择性地移除。在实现了图4F中所示的结构之后,抗蚀剂涂层403被从其剥离,参见图4G。在另一步骤中,金和粘附层420被沉积在晶片上,如本文中以上所解释的。如图5A中所示,将另外的抗蚀剂涂层503应用到晶片。在应用了光刻和显影之后,抗蚀剂涂层503已经如图5B中所示的被选择性地移除。通过对金和粘附层420进行蚀刻,层420被如图5C中所示的选择性地移除。在图5D中图示的另外的步骤中,抗蚀剂涂层503被从晶片剥离。所得到的结构然后被与晶片401-2组装(参考图5E)并且通过加热(参考图5F)使用金:硅共熔接合来接合在一起。如图5F中所示,硅晶片401-1和401-2通过共熔Au:Si接合425而被保持在一起。

[0065] 应当指出,钝化层405无须完全从晶片401-2移除直至铁氧体区域410的边缘(参见图4F)。亦即,尽管图4F未示出到铁氧体区域410的边缘的钝化层405,但是薄层(在图4F中未示出)也可以到铁氧体区域410的边缘被留在晶片410-2上。完全的移除将留下袒露的硅401-2,其将具有这样的特征:仅原生氧化物(即,极薄并且不是可靠的/稳定的钝化层),随后金属化层402要被沉积于其上。优选地,钝化层405仅被向下变薄以使得随后的金属化层420能够被沉积为使得金属化层不立出于铁氧体区域410,即,不在铁氧体区域410的水平之上。以此方式,金属化层420被沉积到高质量并且稳定的热生长的二氧化硅钝化层405上。

[0066] 这种改变的另外的潜在优点在于:整个硅晶片被钝化,而不仅是包含铁氧体的区域。因此,在两个晶片被接合到一起之后将硅变薄回去能够采取本文中如下提到的30至50 μ m之外的步长。热生长的二氧化硅是针对氢氧化四甲基铵(TMAH)的完美的蚀刻终止/硬掩膜。这意味着,接合的晶片(形成完整的铁氧体棒)能够首先被机械地薄化到30至50 μ m。晶片然后能够被置于氢氧化四甲基铵(TMAH)蚀刻剂的浴中,这将化学地移除所有其他的硅晶片,但是不能蚀刻穿过二氧化硅钝化层。因此,所得到的设备基本上仅由铁氧体针构成。尽管硅区域用作阻抗变换器而损耗,但是整个铁氧体插入物大约尽可参接近地完全由铁氧体构成,这在要求使图15G、16J、17B、17C和22C中的对齐孔的尺寸最小化的情况下可以是重要的。这将还允许接合的铁氧体棒结构的整个外部的金属化,以形成圆形横截面的介电/铁氧体波导,如针对构建互易双模式锁定相位移动器和互易旋转场非锁定相位移动器所需要的,如在下文中所描述的:Hord W E(1989)的“Microwave and Millimeter-wave Ferrite Phase Shifters”(Microwave Journal State of the Art Supplement-9月)。

[0067] 关于如图4A-5F中所示的金/硅共熔接合,其中,一个晶片被平面化(图4A-4B),承受磁性材料的晶片401-1和401-2将不再是完全对称的,即,铁氧体棒可能不再是圆柱形的。作为备选的方法,两个晶片401-1和401-2可以经受图4C-4G中示出的步骤(其中,晶片401-1实际上使所有SiO₂通过在图4F和4G中图示的步骤中的蚀刻移除)。然后,假定晶片401-2上的金属化层420足够厚以确保接触,能够在没有磁性材料层410之间的间隙的情况下实现到晶片401-1的接合。在该方法中,金属层420高于基板401-2中的磁性材料410的水平,以与基板401-1的硅相接触。两个磁性填充的区域仍彼此接触而没有气隙,并且存在针对接合的金属/硅接触。

[0068] 参考图6A-6H以及图7A-7E中图示的使用剥除的共熔接合过程流。图6A示出了第一硅晶片601-1,其包括经退火的磁性材料610的半圆柱体(在其端部渐缩为点),磁性材料610已经被平面化处理而晶片601-1的剩余部分已经利用稳定的、低损耗热二氧化硅层605被钝化。化学机械抛光的步骤产生图6B中示出的结构。第二硅晶片601-2(在图6C中所示)类似于第一硅晶片601-1,其包括经退火的磁性材料610的半圆柱体(在其端部渐缩为点),磁性材料610已经被平面化处理而晶片601-2的剩余部分已经利用稳定的、低损耗热二氧化硅层605被钝化。图6D示出了在应用了抗蚀剂涂层603之后的硅晶片601-2。通过使晶片经受光刻和显影步骤,抗蚀剂涂层603如图6E中所示的被选择性地移除。接下来,通过各向异性二氧化硅蚀刻,SiO₂层605如图6F中所示的被选择性移除。在实现了图6F中所示的结构之后,抗蚀剂涂层603被从其剥离,参见图6G。在另外的步骤中,将另外的抗蚀剂涂层703沉积到晶片上,如图6H中所示。在应用了光刻和显影之后,抗蚀剂涂层703已经如图7A中所示的被选择性地移除。在接下来的步骤中,金和粘附层720被沉积在晶片601-2上,如图7B中所示。在由图7C所图示的另外的步骤中,抗蚀剂涂层703被剥除以从铁氧体区域移除金和粘附层720。所得到的结构然后被与晶片601-2组装(参考图7D)并且通过加热而使用金:硅共熔接合被接合到一起(参考图7E)。如图7E中所示,硅晶片601-1和601-2通过共熔Au:Si接合725而被保持在一起。

[0069] 再次,应当指出,钝化层605无须完全从晶片601-2移除直至铁氧体区域610的边缘。亦即,尽管图6F未示出到铁氧体区域610的边缘的钝化层605,但是薄层(在图6F中未示出)也可以到铁氧体区域610的边缘被留在晶片601-2上。优选地,钝化层605仅被向下变薄以使得随后的金属化层720被沉积为使得金属化层720不立出于铁氧体区域610,即,不在铁氧体区域610的水平之上。

[0070] 关于如图6A-7E中所示的金/硅共熔接合,其中,一个晶片被平面化处理(图6A-6B),承受晶片601-1和601-2的磁性材料可能不再是完全对称的,即,铁氧体棒可能不再是圆柱形的。作为备选的方法,两个晶片601-1和601-2可以经受图6C-6G中示出的步骤(其中,晶片601-1实际上使所有SiO₂通过在图6F和6G中图示的步骤中的蚀刻移除)。然后,假定晶片601-2上的金属化层620足够厚以确保接触,能够在没有磁性材料层610之间的间隙的情况下实现到晶片601-1的接合。在该方法中,金属层620高于基板601-2中的磁性材料确610的水平,以与基板601-1的硅相接触。两个磁性填充的区域仍彼此接触而没有气隙,并且存在针对接合的金属/硅接触。利用金/金热压接合(图8-11),两个晶片(来自图3C或3E)被利用对热二氧化硅膜305、405、605的各向异性蚀刻的相同的处理,使得两个晶片上的金和(一个或多个)粘附层420、720能够彼此接触以将晶片永久地接合在一起,而不高出铁氧体半圆

柱的最外表面,即,使得铁氧体区域310、410、610之间没有气隙。

[0071] 参考图8A-8F以及图9A-9F中图示的使用蚀刻的金/金热压接合过程流,图8A示出了第一和第二硅晶片801-1和801-2,两者都包括经退火的磁性材料810的半圆柱体(在其端部渐缩为点),磁性材料810已经被平面化处理而晶片801-1、801-2的剩余部分已经利用稳定的、低损耗热二氧化硅层805被钝化。图8B示出了在应用了抗蚀剂涂层803之后的硅晶片801-1、801-2(此后称为硅晶片801)中的一个。通过使晶片经受光刻和显影步骤,抗蚀剂涂层803如图8C中所示的被选择性地移除。接下来,通过各向异性二氧化硅蚀刻,SiO₂层805如图8D中所示的被选择性移除。在达到了图8D中所示的结构之后,抗蚀剂涂层803被从其剥离,参见图8E。在另一步骤中,金和粘附层820被沉积在晶片上,如本文中以上所解释的。如图9A中所示,将另外的抗蚀剂涂层903应用到晶片。在应用了光刻和显影之后,抗蚀剂涂层903已经如图9B中所示的被选择性地移除。通过对金和粘附层820进行蚀刻,层820被如图9C中所示的选择性地移除。在图9D中图示的另外的步骤中,抗蚀剂涂层903被从晶片剥离。两个晶片801-1和801-2然后通过应用热和压力(参考图9F)而被组装(参考图9E)和接合在一起。如图9F中所图示的,硅晶片801-1和801-2通过Au/Au晶片接合930而被保持在一起。

[0072] 再次,应该指出,钝化层805无须完全从晶片801-2移除直至铁氧体区域810的边缘。亦即,尽管图8D未示出到铁氧体区域810的边缘的钝化层805,但是薄层(在图8D中未示出)也可以到铁氧体区域810的边缘被留在晶片801-2上。优选地,钝化层805仅被向下变薄以使得随后的金属化层820被沉积为使得金属化层820不立出于铁氧体区域810,即,不在铁氧体区域610的水平之上。

[0073] 参考图10A-10F以及图11A-11E中图示的使用剥除的金/金热压接合过程流,图10A示出了第一和第二硅晶片1001-1和1001-2,两者都包括经退火的磁性材料1010的半圆柱体(在其端部渐缩为点),磁性材料1010已经被平面化处理而晶片1001-1、1001-2的剩余部分已经利用稳定的、低损耗热二氧化硅层1005被钝化。图10B示出了在应用了抗蚀剂涂层1003之后的硅晶片1001-1、1001-2(此后称为硅晶片1001)中的一个。通过使晶片经受光刻和显影步骤,抗蚀剂涂层1003如图10C中所示的被选择性地移除。接下来,通过各向异性二氧化硅蚀刻,SiO₂层1005如图10D中所示的被选择性移除。在实现了图10D中所示的结构之后,抗蚀剂涂层1003被从其剥离,参见图10E。在另外的步骤中,将另外的抗蚀剂涂层1103沉积到晶片上,如图10F中所示。在应用了光刻和显影之后,抗蚀剂涂层1103已经如图11A中所示的被选择性地移除。在接下来的步骤中,金和粘附层1120被沉积在晶片1001上,如图11B中所示。在由图11C所图示的另外的步骤中,抗蚀剂涂层1003被剥除以从铁氧体区域移除金和粘附层1120。两个晶片1001-1和1001-2然后使用热压接合(即,应用热和压力)(参考图11E)而被组装(参考图11D)和接合在一起。如图11E中所图示的,硅晶片1001-1和1001-2通过Au/Au晶片接合1130而被保持在一起。

[0074] 再次,应当指出,钝化层1005无须完全从晶片1001-2移除直至铁氧体区域1010的边缘。亦即,尽管图10D未示出到铁氧体区域1010的边缘的钝化层1005,但是薄层(在图10D中未示出)也可以到铁氧体区域1010的边缘而被留在晶片1001-2上。优选地,钝化层1005仅被向下变薄以使得随后的金属化层1120被沉积为使得金属化层1120不立出于铁氧体区域1010,即,不在铁氧体区域610的水平之上。

[0075] 可以使用对晶片上的热二氧化硅膜305、405、605、805、1005的类似的背蚀刻以提

供插入胶粘层的空间(参考图12A-12F),以将晶片对胶粘在一起而不在铁氧体半圆柱之间引入气隙。

[0076] 参考图12A-12F中图示的过程流,图12A示出了第一和第二硅晶片1201-1和1201-2,其包括经退火的磁性材料1210的半圆柱体(在其端部渐缩为点),磁性材料1210已经被平面化处理而晶片1201-1、1201-2的剩余部分已经利用稳定的、低损耗热二氧化硅层1205被钝化。图12B示出了在应用抗蚀剂涂层1203之后的硅晶片1201-1、1201-2(此后称为硅晶片1201)中的一个。通过使晶片经受光刻和显影步骤,抗蚀剂涂层1203如图12C中所示的被选择性地移除。接下来,通过各向异性二氧化硅蚀刻,SiO₂层1205如图12D中所示的被选择性移除。在达到了图12D中所示的结构之后,抗蚀剂涂层1203被从其剥离,参见图12E。晶片1201-1和1201-2两者然后利用胶粘层1240被组装,随后胶粘层1240被固化(参考图12F)。

[0077] 图26示意性和示范性示出了制造铁氧体棒的方法的实施例。所述方法包括如下步骤:

[0078] 步骤2690包括将第一腔体蚀刻到第一半导体基板的第一表面中。

[0079] 步骤2691包括将第一铁氧体层沉积到所述第一腔体中。

[0080] 步骤2692包括将第二腔体蚀刻到第二半导体基板的第二表面中。

[0081] 步骤2693包括将第二铁氧体层沉积到所述第二腔体中。

[0082] 步骤2694包括将所述第一半导体基板的第一表面附接到所述第二半导体基板的第二表面,使得所述第一铁氧体层与所述第二铁氧体层相接触,其中,所述第一铁氧体层和所述第二铁氧体层形成铁氧体棒。

[0083] 在晶片接合之后,通过前面描述的任何手段,所得到的两个硅晶片堆叠将采取图5F、7E、9F、11E和12F中的形式。接合的晶片对然后通过磁圆柱体区域之上和之下两者对硅进行机械研磨掉和/或化学蚀刻而被薄化,直到仅剩余针对结构设备完整性和热转移的最小需要。向下研磨到30到50 μ m的最小剩余硅厚度应当是可能的。Lu J Q、Jindal A、Kwon Y、McMahon J J、Rasco M、Augur R、Cale T S、Gutmann R J(2003)的“Evaluation Procedures for Wafer Bonding and Thinning of Interconnect Test Structures for 3D ICs”(IEEE International Interconnect Technology Conference(IITC)-San Francisco CA 7月2-4日,第74-76页)中报道了这样的值,参考对接合的硅晶片的回磨。

[0084] 对于特定的设备,例如,互易相位移动器和非互易相位移动器以及谐振隔离器,磁性材料芯周围的空间中可能留有包封/支持单晶硅晶片的特定(设计敏感的参数)厚度,以提供最优设备操作,这是由于来自磁性材料内的波导的电磁场的集中度以及通过改进磁性材料填充的区域与空气填充的波导部分之间的阻抗匹配—参见Button K J、Lax B(1962)的“Microwave Ferrites and Ferrimagnetics”(McGraw-Hill Book Company Inc,第373-374和576-579页)。在减薄之后,个体铁氧体棒能够使用标准硅金刚石晶片切割技术和/或激光切割技术来从晶片上切割。切块过程能够被用于引入围绕铁氧体棒的渐缩的点的对硅的渐缩,以辅助与铁氧体元件随后将要被安装于其中的空气填充的波导的阻抗匹配。

[0085] 为生产法拉第旋转设备,紧邻铁氧体棒区域的易损材料的存在由于晶片接合不应当对设备功能具有不利的影响并且事实上能够起到有用的目的。在铁氧体棒中传播的并且经受法拉第旋转的期望的基本混合HE₁₁介电棒波导模式应当被限定到铁氧体区域并且因此不可能与晶片接合的材料相互作用(并遭受损耗)。将损害期望的设备性能的不期望的更

高阶模式将较少的良好地限于铁氧体棒并且将延伸到晶片棒区域之外。通过在接合区域中故意地引入损耗,例如,通过将抗蚀颗粒包括到胶合的晶片对的胶中或者通过具有在厚度损耗粘附层(TiW)之上的非常薄的金层以进行共熔或热压接合,高阶模式能够被衰减以改进总体设备操作和带宽。生产掺杂的多晶硅膜以产生邻近铁氧体圆柱体的抗蚀层也将是有益的方法。所提到的所有方法在目的上类似于Barnes C E(1961)的“Broad-Band Isolators and Variable Attenuators for Millimeter Wavelengths”(IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques,MTT-9(6),第519-523页)的途径,他将他的法拉第旋转元件置于易损的加载有碳的塑料壳体中。

[0086] 在(非)互易相位移动和共振吸收铁氧体棒设备的情况中,将不存在到铁氧体棒的相同的高水平的场限定。出于该原因,用于将晶片对接合到一起以形成圆柱体铁氧体棒所使用的任何可能的损耗材料的位置应当足够远离铁氧体材料从而不会不利地影响设备操作。

[0087] 在下文中,描述了采用在频率敏感微波设备的生产中使用的铁氧体棒的示范性实施例。

[0088] 一个重要的功能元件是低损耗可调节短路,其由从单晶硅或化合物半导体(例如砷化镓)晶片微加工的波导的固定位置(非可调节的)短路部分形成。硬掩膜层被沉积到基板材料上,之后是光刻以定义波导的轮廓。波导部分然后在基板上被各向异性地蚀刻,要么使用基于等离子体的过程要么使用利用合适的蚀刻剂(例如针对硅、氢氧化钾(KOH)或氢氧化四甲基铵(TMAH))的湿化学蚀刻,其造成具有特征性的倾斜的侧壁的波导。在硬掩膜材料(使用的对蚀刻剂的抗蚀剂)的移除之后,高质量、无针孔绝缘介电层被沉积在蚀刻的波导部分之内,例如,在硅基板的情况下是二氧化硅。薄膜、高导电性金属层然后被沉积到介电层上以形成波导的内表面。波导部分通过对第二金属化基板进行附接、焊接/热压接合来完成。

[0089] 在图4A-14J、15A-15G、16A-16J、17A-17C以及18A-18D中图解地图示了过程流步骤,其示出了具有在单个厚晶片中制造的微加工的波导的设备、所谓的梯形波导截面、以及微加工的波导的高度均匀地分布在作为六角截面波导的硅晶片之间的情况。

[0090] 参考实现微加工的非MEMS可调谐可变复阻抗设备(图14A-14J以及15A-15G中图示),图14A示出了硅晶片1401。接下来,如图1B中所示,在硅晶片1401上形成了氮化硅层1404。在随后的步骤中,如图14C中所示的,将抗蚀剂涂层1403应用到氮化硅层。在应用光刻和显影步骤之后,实现了如图14D中所示的结构,其中,抗蚀剂涂层1403的部分已经从选定的区域被移除。接下来,执行氮化硅蚀刻(参考图14E)并且抗蚀剂1403被剥离,使得所得到的结构为图14E中所示出的结构。KOH蚀刻步骤被执行(在图14G中示出)。在随后的步骤中,剩余的氮化硅被剥离(图14H)。然后,另外的氮化硅1504层被生长,如图14I中所示。在应用了新的抗蚀剂涂层1503之后,所得到的结构在图14J中示出。

[0091] 图15A示出了来自图14J的硅晶片1401,其在应用了光刻和显影步骤之后具有氮化硅层1504和抗蚀剂涂层1503,其中,抗蚀剂涂层1503的部分已经被选择性地移除,即,从选定的区域移除。接下来,如在图15B中所示的,执行光刻和氮化硅蚀刻步骤,其中,氮化硅层1504的部分已经被选择性地移除,即,从选定的区域移除。图15B中所示的结构然后要么经受深反应离子蚀刻(DRIE)(如图15C中所示)要么经受氢氧化钾(KOH)或氢氧化四甲基铵

(TMAH) 蚀刻 (如图 15D 中所示, 其适用于 KOH 和 TMAH 蚀刻两者)。在这两种情况下, Si 晶片 1401 的上层的部分如图 15C 和 15D 中所示的被选择性地移除。随后的步骤参考从 KOH/TMAH 蚀刻获得的结构 (图 15D) 来解释。类似的步骤也可以被应用于从 DRIE 获得的结构 (图 15C)。在剥离之后, 剩余的氮化硅 1504、Si 晶片 1401 展示出图 15E 中所图示的形状。对硅进行氧化造成 Si 晶片 1401 的顶部的 SiO₂ 层, 如图 15F 中所示。图 15G 图示了当在 SiO₂ 层 1505 的顶部上应用了金属化层 1550 之后的 Si 晶片 1401。

[0092] 图 18A-18D 中示出了本文中以上描述的各自的过程流步骤的晶片 1401 的顶视图, 其中, 图 18A 对应于图 15A, 图 18B 对应于图 15B-15D, 图 18C 对应于图 15E, 并且图 18D 对应于图 15F。箭头意味着结构在指示的方向继续。如果人们要重绘图 18A 并且用 16XX 代替所有附图标记 15XX, 则新的图是指图 16D 的顶视图。第二, 如果人们要重绘图 18B 并且用 '1604' 代替 '1504', 并且用 '1601' 代替 '1401', 则所得到的新图提供了图 16F、16G 和 16H 的顶视图。类似地, 如果人们要重绘图 18C 并且用 '1601' 代替 '1401', 则所得到的新图提供了图 16I 的顶视图。最后, 如果人们要重绘图 18D 并且用 '1605' 代替 '1505', 则所得到的新图提供了图 16J 的顶视图。

[0093] 如图 17B 中所图示的, 所得到的晶片可以通过将其与晶片 1601 组合而用作构建梯形波导的一部分 (如图 17A 中所示) (如下参考图 16A-16J 和 17A-17B 所解释地制造的)。以类似的方式, 图 15G 中所示的晶片中的两个可以被用于构建图 17C 中示出的六角波导。

[0094] 对于梯形波导版本, 用于制造第二晶片 (其要与如图 15G 中所示的第一晶片组合) 的过程流在图 16A-16J 和 17A 中被图示。图 16A 示出了硅晶片 1601。如图 16B 中所示, 氮化硅层 1604 被应用到在硅晶片 1601。随后在氮化硅层 1604 的顶部上形成抗蚀剂涂层 1603 (参见图 16C)。接下来, 如图 16D 中所示的, 执行光刻和显影步骤, 其中, 抗蚀剂涂层 1603 的部分被选择性地移除。通过向氮化硅层 1604 应用深反应离子蚀刻, 氮化硅层 1604 的部分被选择性地移除, 即从选定的区域移除, 如图 16E 中所图示的。在另外的步骤中, 抗蚀剂涂层 1603 被从晶片剥离, 留下图 16F 中所示的结构。图 16F 中所示的结构然后要么经受深反应离子蚀刻 (DRIE) (如图 16G 中所示) 要么经受氢氧化钾 (KOH) 或氢氧化四甲基铵 (TMAH) 蚀刻 (如图 16H 中所示, 其被应用于 KOH 和 TMAH 蚀刻两者)。在这两种情况下, Si 晶片 1601 的上层的部分如图 16G 和 16H 中所示的被选择性地移除。随后的步骤参考从 KOH/TMAH 蚀刻获得的结构 (图 16G) 来解释。类似的步骤也被应用于从 DRIE 获得的结构 (图 16H)。在剥离之后, 剩余的氮化硅 1604、Si 晶片 1601 展示出图 16H 中所图示的形状。对硅进行氧化造成 Si 晶片 1601 的顶部上的 SiO₂ 层 1605, 如图 16J 中所示。图 17A 图示了当在 SiO₂ 层 1605 的顶部上应用了金属化层 1650 之后的 Si 晶片 1601。从图 16H 中所示的晶片开始可以得到类似的结构, 主要差别在于, 针对铁氧体元件的 DRIE 蚀刻的对齐槽的不同形状。

[0095] 图 17B 和 17C 图示了梯形波导 (图 17B) 或六角形波导 (图 17C) 的组件。附图示出了朝着微加工的波导往下看并且看到轴向定位的铁氧体棒/条的“端部”截面视图。图 17B 和 17C 中所示的变型假定在铁氧体填充的截面上使用延长的 DC 磁偏置螺线管。如图 17B 中所示, 硅晶片 1601 (例如, 根据图 16A-16J、17A 图示的步骤生产的) 与硅晶片 1401 (例如, 根据图 14A-14J、15A-15G 图示的步骤生产的) 被组装到一起以构建具有梯形截面的波导 (梯形波导)。两个硅晶片 1401、1601 包括凹槽以帮助定中心和容纳磁性材料 1710, 磁性材料 1710 例如可以是铁氧体厚层或铁氧体复合物 310, 410, 610, 810, 1010, 1210。磁性材料 1710 之前已经在本

申请中前面描述的过程中制造,即,磁性材料1710可以是图5F、7E、9F、11E或12F中示出的形式中的一种。磁性材料1710然后手动地或者利用某种自动拾取和放置机器被放置到图17B和17C中所示的对齐/保持凹槽中。

[0096] 晶片1601和1401通过热压形成的金属到金属接合被保持在一起。备选地,两个晶片可以通过导电胶等被保持在一起。如图17C中所示,硅晶片1401-1与硅晶片1401-2被组装在一起(例如,两者都根据图14A-14J、15A-15G中所图示的步骤生产)以构建具有六角形截面的波导(六角形波导)。两个硅晶片1401-1、1401-2包括凹槽以帮助定中心和容纳磁性材料1710,磁性材料1710例如可以是铁氧体厚层或铁氧体复合物310,410,610,810,1010,1210。晶片1601和1401被通过热压形成的金属到金属接合保持在一起。备选地,两个晶片可以通过导电胶等被保持在一起。

[0097] 波导的短路部分之前是可调节相位移动器设备,所述可调节相位移动器设备由相同的微加工的波导的部分形成,其轴向地加载有合适地选择和定尺寸的铁氧体材料的厚层或棒。螺线管被外部地提供于加载有铁氧体的微加工的波导部分,或者作为分别的分立的绕线部件或者直接被集成到半导体晶片,通过使用膜金属化和过基板过孔来形成波导。螺线管被取向为提供DC磁偏置场,其相对于铁氧体棒/条以及电磁波沿微加工的波导传播的方向纵向地或横向地对齐。如本领域技术人员所熟悉的,由此形成的设备是互易相位移动器,也称为Reggia-Spencer或黛蒙特军械引信实验室(DOFL)相位移动器。通过改变供应给螺线管的电流的幅度,由微加工的波导的部分铁氧体填充的部分提供的相位移动器是可变的,因此,能够被使得由连接到相位移动器和短路的输入部的任何设备“看到”的固定位置短路的反射系数发生改变。另外,介电间隔物的高度、宽度和位置以及使用能够被用于实现不同水平的设备灵敏变,其因此被定义为针对给定的DC磁偏置场强度实现的相位移动的度数—参见Reuss M L Jr.(1964)的“A Study of a Ferrite Phase Shifter,US Naval Research Laboratory”(NRL Technical Report 6112,6月8日)。本文中描述了这些介电间隔物的提供和制造实际铁氧体棒/条的方法(特别是毫米波频率,其中,传统的陶瓷处理技术已经被推进到它们的极限)。

[0098] 参考图19A-19D、20A-20D、21A-21C以及22A-22C,额外的范例是由Reuss M L Jr.(1968)的“Phase-Shift Enhancement by Mode-Suppression Techniques”(US Naval Research Laboratory,NRL Technical Report 6677,4月30日)的文献所描述的“跨导”相位移动器的硅集成版本。这给出了更高程度的灵敏度(针对给定施加的磁场强度更大的相位移动),其能够造成针对指定度数的相位移动的更短的总体设备长度。这也应当变换为更低的设备损耗。两个硅晶片被用于共享微加工的波导与“跨导”部分的完整高度,其在边缘具有降低的高度并且在承载轴向地定位的铁氧体棒/条的中心区域具有完整高度。

[0099] 硅晶片1901根据图14A-14I中所图示的步骤制造。然而,所述步骤不是针对微加工的波导的整个长度执行的。特别是,在第一KOH蚀刻步骤期间(图14G中所图示的),波导的不包括铁氧体的部分仅被蚀刻到预期深度H完整的部分。图19A图示了晶片1901的顶视图。这里,铁氧体区域1970是要被KOH蚀刻的包括轴向铁氧体深度H跨(H铁氧体<H完整)的区域。另外,主波导1960是要被KOH蚀刻到完整设计波导深度H完整的区域。图19B中图示了晶片1901的侧视图,其中,指示了主波导1960以及针对铁氧体的区域1970。在生长了氮化硅层1904和应用了抗蚀剂涂层1903之后,所得到的结构在图19C中示出。图19D示出了来自图19C的在应

用了光刻和显影步骤之后具有氮化硅层1904和抗蚀剂涂层1903的硅晶片1901,其中,抗蚀剂涂层1903的部分已被选择性移除,即,从选定的区域移除。接下来,如在图20A中所示的,执行光刻和氮化硅蚀刻步骤,其中,氮化硅层1904的部分被选择性地移除,即,从选定的区域移除。图20A中示出的结构然后要么经受深反应离子蚀刻(DRIE)要么经受氢氧化钾(KOH)或氢氧化四甲基铵(TMAH)蚀刻。

[0100] 与图20A对应的侧视图可以在图20B中看到。在剥离之后,剩余的氮化硅1904、Si晶片1901展示出图20C中所示的形状。接下来,另外的氮化硅层2004被生长在Si晶片1901的顶部上,如图20D中所示。

[0101] 在随后的步骤中,在氮化硅层2004的顶部上应用抗蚀剂涂层2103,参见图21A。如由图21B所图示的,抗蚀剂涂层2103被选择性地移除,使得氮化硅层2004的部分变为暴露的。通过移除暴露的氮化硅并且通过进一步剥离抗蚀剂涂层2103,所得到的结构看起来如图21C中所示。在那里,铁氧体对齐沟(或沟槽)可以如本文中以上参考图15A-15F所解释地被蚀刻。

[0102] 参考图22A-22C,图示了跨导相位移动器元件的组装。图22A图示了示出完整高度波导部分2260和跨导铁氧体部分2270的顶视图。完整高度波导部分2260的截面由图22B图示,示出了硅晶片1901-1和1901-2,如本文中以上参考图19A-19D、20A-20D和21A-21C所概述地被处理。硅晶片1901-1和1901-2被覆盖有二氧化硅层2205和金属化层2250。硅晶片1901-1和1901-2通过金属到金属接合(例如,通过热压)、通过导电胶等而被保持在一起。图22C图示了对应的截面跨导铁氧体部分2270(包括跨导相位移动器)。另外,在图22C中示出了磁性材料2210(例如,铁氧体)。

[0103] 图23A-23E和图24A-24B中图示了如何构建E-N调谐器。

[0104] 图23A图示了第一晶片2301-1的顶视图。指示了微加工的主波导G1以及另外的微加工的波导G和轴向定位的铁氧体2310。H平面接合处用附图标记HPJ指示。固定位置短路的位置用标记FPSC表示。此外,EPJ表示E平面接合处以及E平面接合到第二晶片2301-2的位置。E平面接合处被示为点线,因为E平面波导是第二晶片2301-2,其被接合在晶片2301-1的顶部上,使得两个波导在EPJ/接合A区域耦合在一起。这两个区域是相同的,图23A中的点线的标记旨在指示第二波导G2被定位于主波导G1的顶部上。

[0105] 图23B示出了第二晶片2301-2的顶视图。微加工的波导G2以及轴向定位的铁氧体2310被指示。固定位置短路的位置用标记B表示。此外,A表示到主波导G1的E平面接合处以及到相位移动器部分的E平面接合的位置。图23E中示出了第二晶片2301-2的对应侧视图。

[0106] 图23C和23D图示了在E平面接合区域的截面图中的E平面接合区域EPJ和A的两个选项。如图23C中所示,间隔物2380可以沿晶片2301-1和2301-2的整个截面延伸。备选地,如图23C中所示,间隔物2380可以沿晶片2301-1和2301-2的截面的部分延伸。在这两种情况下,间隔物2380将波导G1与波导G2分隔。另外,在两种情况下,硅晶片2301-1、2301-2以及间隔物2380被导电接合保持在一起。在图23C中,三个晶片为2301-1、2301-2以及作为第三晶片的间隔物2380。在图23D中,仅存在两个硅晶片,即,2301-1和2301-2。在图23D中,间隔物2380不是由硅晶片制成的而是由良好导电片材料制成的,诸如金属、碳纤维、合适的导电塑料等。

[0107] 图24A和24B示出了间隔物元件2380的更加详细的视图:选项1(在图23C中图示,间

隔物细节在图24A中示出)使用具有在E平面接合区域EPJ中化学地蚀刻的沟槽的三个半导体晶片;以及选项2(在图23D中图示,间隔物细节在图24B中示出)使用两个晶片2301-1和2301-2以及等离子蚀刻的沟槽和金属/导电间隔物,例如,蚀刻的铍铜(BeCu)箔、在E平面接合处EPJ区域中具有行进到其中的孔的碳纤维加强的塑料。

[0108] 参考图24A,示出了硅(高欧姆值)或印刷电路板。间隔物2380包括硅晶片2401-1。如图24A中所示,间隔物2380的前侧和后侧被热生长的SiO₂层2405和金属化层2450覆盖。前侧和后侧金属化层通过使用过基板过孔2406而被电连接到一起,过孔2406应被填充以具有良好导电性的金属(诸如,例如,铜)。在间隔物的中心部分中,指示了E平面耦合区域EPJ。区域EPJ能够由体硅晶片2401-1自身构成或者能够是蚀刻完全通过硅晶片2401-1的开口(诸如,例如,孔),即,区域EPJ是通过例如深反应离子蚀刻、激光钻孔、使用湿化学或气相蚀刻的各向同性蚀刻等若干种手段中的一种的硅中的空区。

[0109] 参考图24B,示出了导电的间隔层2380(例如,铍铜箔或碳纤维增强的塑料)。间隔物2380例如包括金属、碳纤维、重掺杂的硅等。在间隔物的中心部分,E平面耦合槽EPJ、A被穿孔、钻孔、切割或蚀刻通过材料。

[0110] 如何使用包括轴向铁氧体相位移器波导部分与固定位置短路的设备结构来构建频率灵敏腔体滤波器在图25A-25C中被示出。

[0111] 参考图25A,示出了非MEMS调谐的微加工滤波器的顶视图。点线是第二(例如,上方)晶片中的微加工的耦合部分。R1、R2和R3表示在第一晶片2501-1中形成的主微加工的腔体谐振器。 $\Delta P1A$ 、 $\Delta P2A$ 、 $\Delta P3A$ 、 $\Delta P1B$ 、 $\Delta P2B$ 和 $\Delta P3B$ 表示用于形成互易相位移器部分的包括固定位置短路和轴向地定位的铁氧体棒/条的微加工的波导。 $\Delta P1A$ 、 $\Delta P2A$ 、 $\Delta P3A$ 、 $\Delta P1B$ 、 $\Delta P2B$ 和 $\Delta P3B$ 在第一晶片2501-1中制造。在一些应用中(诸如,例如六角形波导), $\Delta P1A$ 、 $\Delta P2A$ 、 $\Delta P3A$ 、 $\Delta P1B$ 、 $\Delta P2B$ 和 $\Delta P3B$ 也在第二晶片2501-2中制造。

[0112] 图25B示出了图25A中示出的滤波器的沿方向A的截面视图。两个晶片2501-1和2501-2分别被覆盖有SiO₂层2505。SiO₂层2505分别被覆盖有金属化层2550。

[0113] 图25C示出了图25A中示出的滤波器的沿方向B的截面视图。两个晶片2501-1和2501-2分别被覆盖有SiO₂层2505。SiO₂层2505分别被覆盖有金属化层2550。

[0114] 这相对于如WO 2009/124730A1中以及autier W(2010)的“RF-MEMS Based Passive Components and Integration Concepts for Adaptive Millimetre Wave Front-Ends”(Thesis for the degree of Doktor-Ingenieur(Dr.-Ing),University of Ulm,Germany,2010年10月29日,第45-54页)中示出的设计具有的优势在于,这里的设备是完全以微加工的波导的形式制造的。因此,所述设备将相比于前述设计(Gautier(2010),其是基于微条线和槽耦合的,随后是到外部MEMS开关的线接合)具有较低的损耗、更加可靠并且更加容易扩展到更高的频率。所述可调谐滤波器也可以使用E-H调谐器部分代替相位移器和固定位置短路来构建。作为对滤波器响应的基于相位移动/幅度和基于相位移动的调谐的备选,能够通过向轴向地定位的铁氧体棒/条中添加水平地定位的电阻片来制造由Bowness C、Owen J Q、Thomassen N E(1958)的“A Low-power Amplitude Modulator at Microwave Frequencies”(IRE Canadian Convention,Toronto,10月15日)的文献中所描述的幅度调制器的硅集成的版本。

[0115] 如在Mills J B、Ocket I、John A(2011)的“Waveguide Tuner Stabilized Ultra

Low Phase Noise 60GHz SiGe.C Oscillator MMLC”(11th Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems)中所描述的,能够通过将E-H平面调谐器替换为微波腔体谐振器来构建微波振荡器,同时仍达到来自有源设备的完美的相位噪声。代替外部金属波导调谐器,硅集成的版本可以被用于建立完全平面集成的高性能微波/毫米波振荡器。

[0116] 如Clavin A(1960)的“Reciprocal Ferrite Phase Shifters-On Higher Order Modes”(IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques,8(2),第254-255页)中所提及的,Reggia-Spencer相位移动器的相位移动是温度相关的,但是这能够利用第二磁偏置场线圈来容易地补偿。这样的方法可以被并入到本文中描述的设备中。带隙二极管可以在承载相位移动器区的硅晶片上直接制造以提供对设备温度的原位测量。

[0117] 在图14-25中,假设使用了外部DC磁偏置场线圈。对于集成的偏置场线圈的情况,截面图将通过添加过晶片过孔和形成设备的晶片瓣上的前侧/后侧金属化针对集成的偏置场先前而被合适地修改。

[0118] 附图中示出的铁氧体棒/条可以具有渐缩的端部以具有到微加工的波导的未加载铁氧体的部分的改进的阻抗匹配。

[0119] 本发明旨在克服许多可靠性问题,其当前挑战RF MEMS设备在挑战性环境中的接受和使用,例如通过移除所有移动部分并且依赖于材料和设备的操作模式的空间,其已经是空间合格的并且通过提供可变终端阻抗(在相位和/或幅度上可调节)来提供控制微波/毫米波设备的操作频率的手段。这与新颖的制造方法直接组合并且与设备直接集成,例如,滤波器/天线/波导/振荡器,使用平面电路几何结构以具有低的质量并且容易与其他RF部件集成(诸如电路板和集成电路),从而降低RF损耗的源的数量、阻抗失匹配和可能的机械故障。所述设备是使用标准半导体过程技术(光刻、各向异性和各向同性蚀刻、膜敷金属、晶片切割、冲模和晶片接合)来制造和组装的,其同时提供了批量生产和可重复,在制造的设备尺寸上具有极高水平的精度并且因此极高水平的操作频率和调谐范围。

[0120] 所述设备没有移动部他并且通过在高反射系数(低损耗)固定位置短路前面提供可调节相位移动器来操作。也能够生产两个共同定位的分流器和串联可调节短路卡头,也称为E-H调谐器。它们提供生成在史密斯表上找到的任何复反射系数的能力。

[0121] 所述设备得益于制造的方法以及其示出的与高品质因子腔体谐振器集成以形成频率敏感的高选择性滤波器以及其他设备一起的集成。将所述设备与高品质因子微加工腔体谐振器和有源(放大)元件一起集成使得能够生产超低相位噪声可调谐谐振器。在所有范例中,包括E-H调谐器,能够在平面电路几何配置中生成。所述相位移动元件可以与波导槽天线组合以提供如由Reggia F、Spencer E G(1957)的“A New Technique in Ferrite Phase Shifting for Beam Scanning of Microwave Antennas”(Proceedings of the IRE,第45卷,11月,第1510-1517页)中所描述的波束操纵。

[0122] 本发明的范例应用可以用在法拉第旋转隔离器、调制器或极化器中。本发明还能够用于铁氧体棒中以在Reggia-Spencer相位移动器中使用。本发明的另一范例应用是用于在Reggia-Spencer调制器中使用的具有吸收鳍(fin)的铁氧体棒。本发明也能够用在反铁磁谐振隔离器中使用。本发明的另外的范例应用是用于在非互易相位移动器中使用的铁氧体棒或条。

[0123] 在以上公开的实施例中,针对金金属化要被沉积于其上的粘附层的范例材料组合可以是如下三层结构:

[0124] 1、在纯氩气气氛下溅射的铌/在混合的氩气+氮气气氛下溅射的铌/在纯氩气气氛下溅射的铌/金层;

[0125] 2、在纯氩气气氛下溅射的钛0.3钨0.7/在混合的氩气+氮气气氛下溅射的钛0.3钨0.7/在纯氩气气氛下溅射的钛0.3钨0.7/金层;

[0126] 3、在纯氩气气氛下溅射的钛或钛0.3钨0.7/在纯氩气气氛下溅射的钼/在混合的氩气+氮气气氛下溅射的钼/在纯氩气气氛下溅射的钼/金层;

[0127] 这些结构组合粘附层和所谓的“塞满”屏蔽层以防止金扩散/创建将造成不可靠/弱接合的金属间化合物(或者共熔或者金/金热压)。在所有如下情况下,首先列出的层(列表中最左侧的)是优选地沉积到硅晶片上的热生长的二氧化硅钝化层的层。

[0128] 在以上公开的实施例中,针对磁性材料的范例材料组合可以是镍锌铁氧体(优选地 $\text{Ni}(1-x)\text{Zn}(x)\text{Fe}_2\text{O}_4$, x 值在范围 $0 < x < 0.8$), 锂铁氧体($\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$), 替位的锂铁氧体以增加饱和磁化(例如, 锌替位的锂铁氧体, 铝替位的锂铁氧体, 钛替位的锂铁氧体、以及组合的铝-钛替位的锂铁氧体), 镁锰铁氧体(优先地 $\text{MgFe}_{1.4}\text{Mn}_{0.02}\text{O}_4$)。

[0129] 备选的基板材料(模被蚀刻入其中)可以包括钛酸镁(Mg_2TiO_4 和 MgTiO_3)以及镁橄榄石(Mg_2SiO_4), 其要用氢氟酸、硝酸、和乙酸的混合物来进行蚀刻。

[0130] 本领域技术人员通过研究附图、公开内容以及权利要求书, 在实践请求保护的本发明时能够理解并且实现对所公开的实施例的其他变型。

[0131] 在权利要求书中, 词语“包括”不排除其他元件或步骤, 并且词语“一”或“一个”不排除多个。

[0132] 单个单元或其他单元可以履行权利要求书中所记载的若干个项目的功能。尽管在互不相同的从属权利要求中记载了特定措施, 但是这并不指示不能有利地使用这些措施的组合。

[0133] 权利要求中的任何附图标记都不应被解释为对范围的限制。

[0134] 本发明涉及用于制造铁氧体棒的方法。所述方法包括将腔体蚀刻到两个导体基板中并且将铁氧体层沉积到腔体中。所述半导体基板被附接到彼此以使得铁氧体层形成铁氧体棒。本发明采用常规的对半导体晶片的光刻和体各向同性微工以精确地和可再现地形成模板或模, 磁性材料可以被沉积到其以形成法拉第旋转或相位移动元件。



图1A

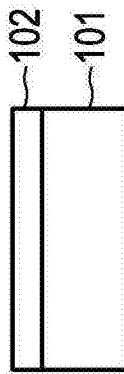


图1B

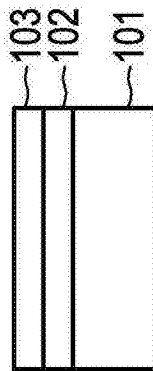


图1C

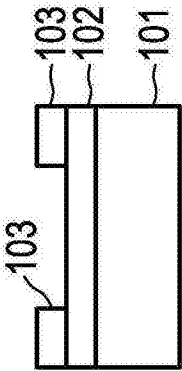


图1D

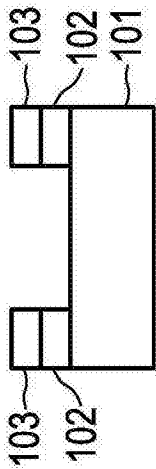


图1E

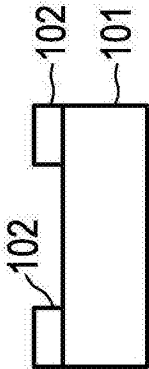


图1F

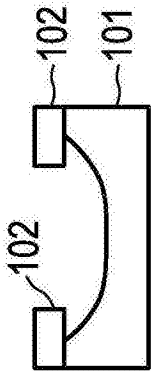


图1G



图1H

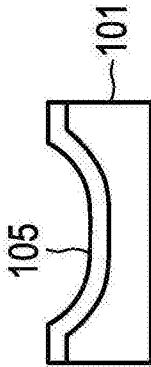


图1I

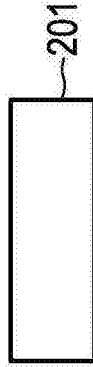


图2A

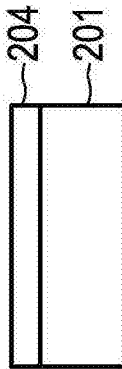


图2B

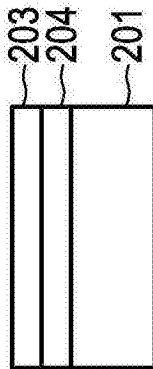


图2C

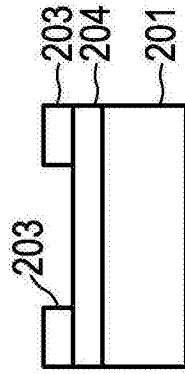


图2D

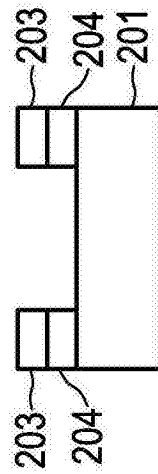


图2E

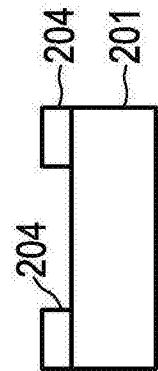


图2F

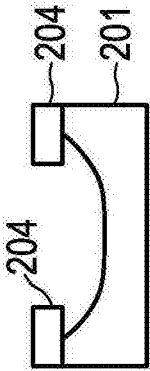


图2G



图2H

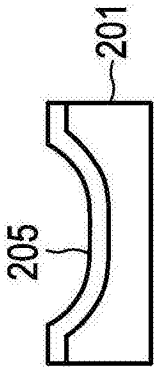


图2I

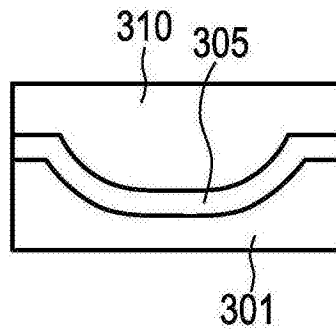


图3A

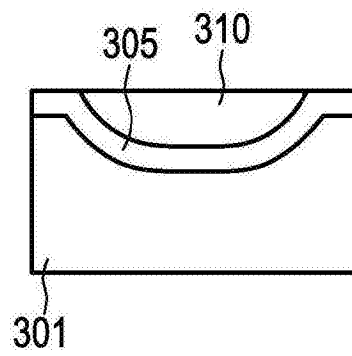


图3B

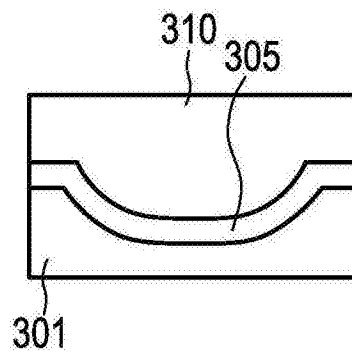


图3D

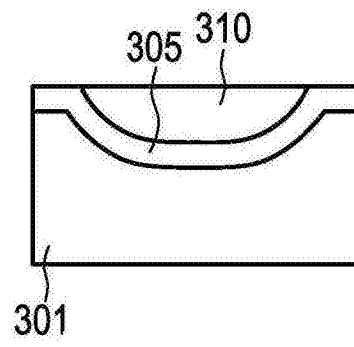


图3C

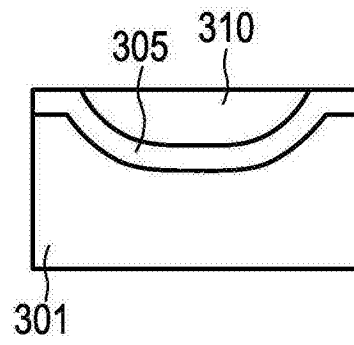


图3E

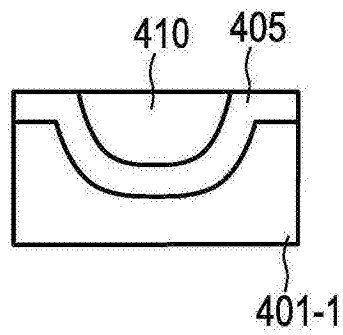


图4A

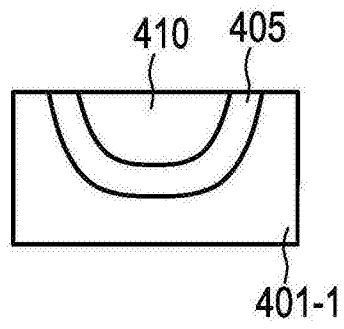


图4B

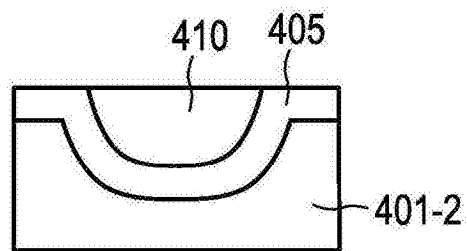


图4C

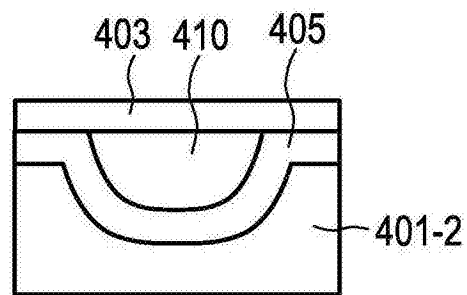


图4D

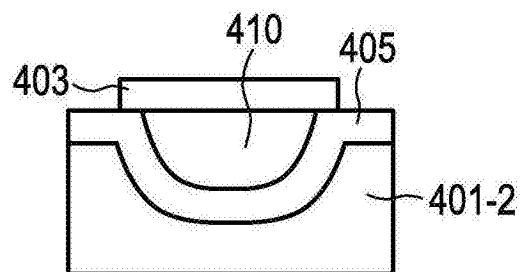


图4E

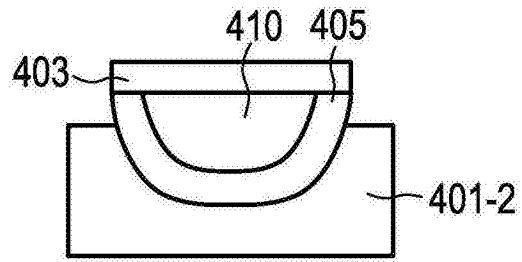


图4F

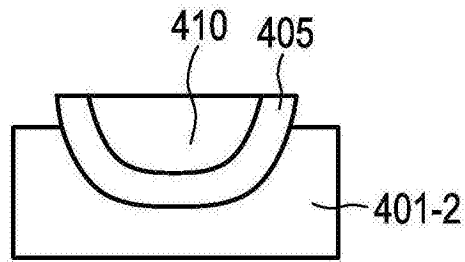


图4G

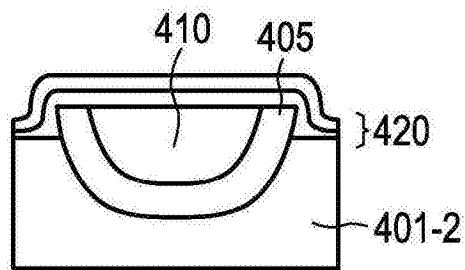


图4H

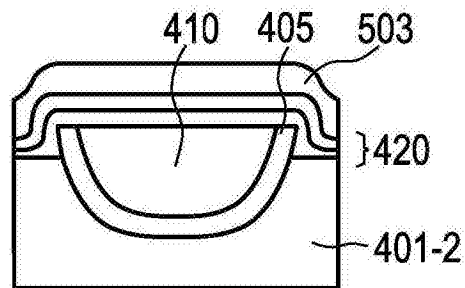


图5A

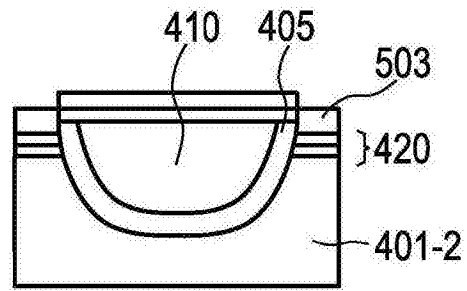


图5B

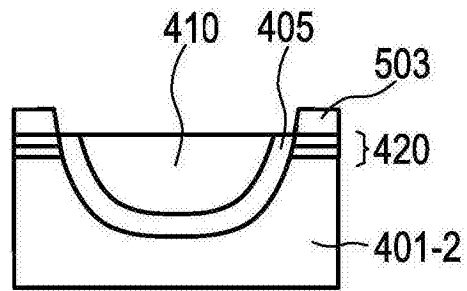


图5C

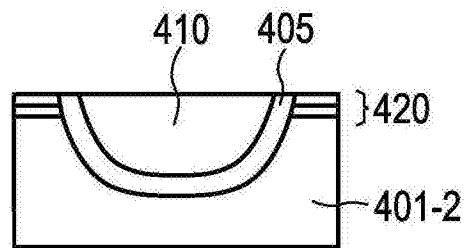


图5D

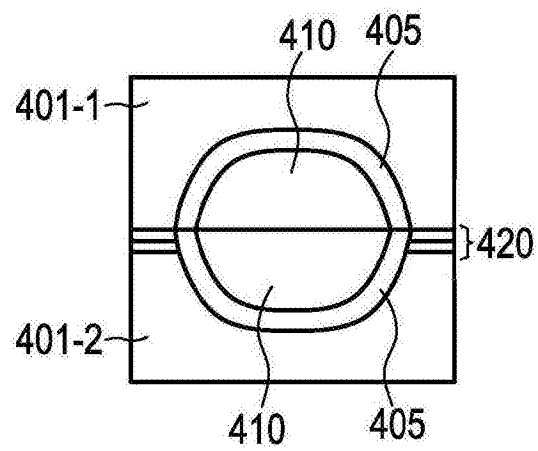


图5E

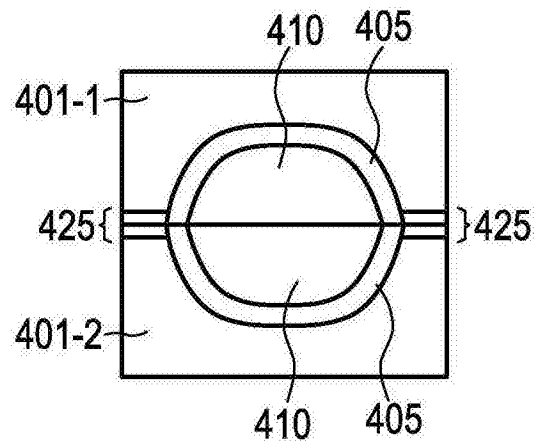


图5F

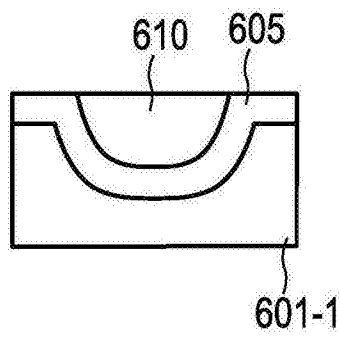


图6A

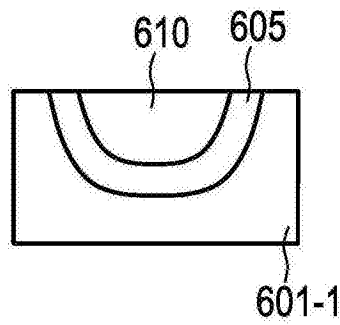


图6B

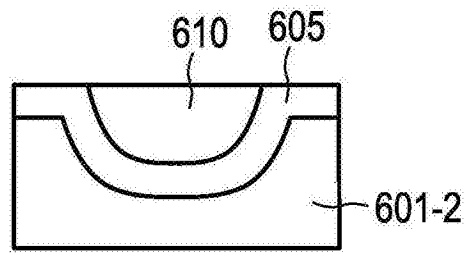


图6C

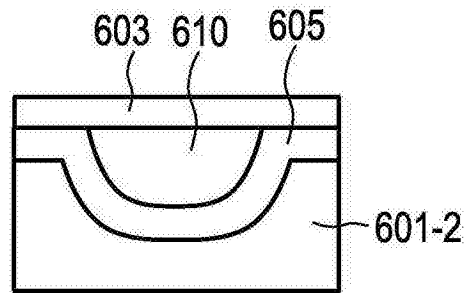


图6D

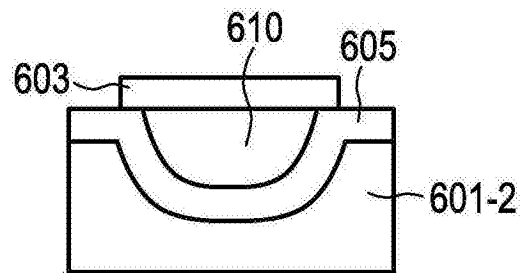


图6E

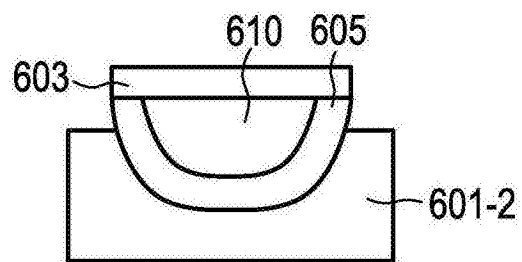


图6F

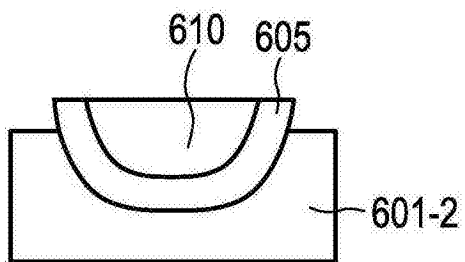


图6G

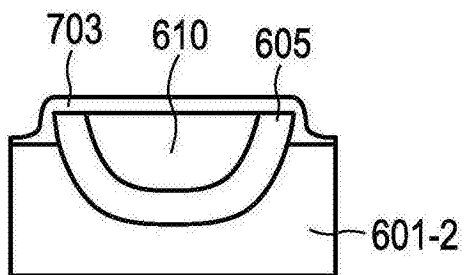


图6H

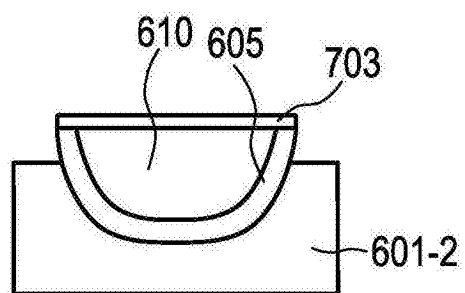


图7A

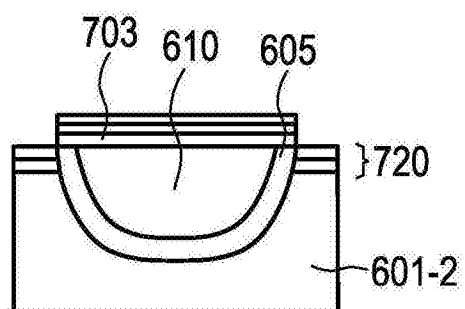


图7B

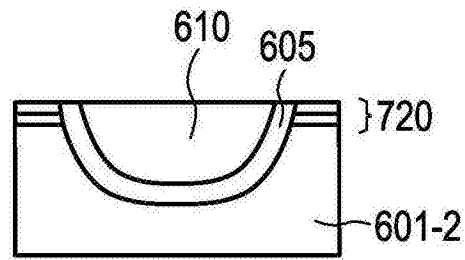


图7C

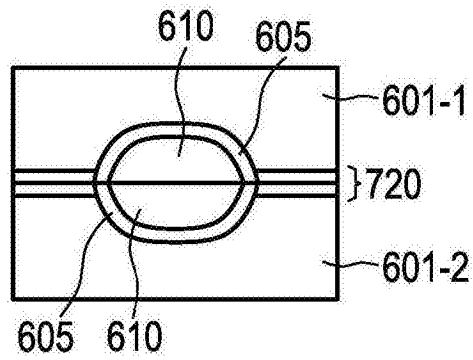


图7D

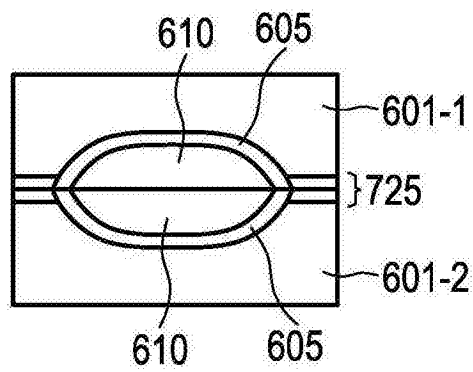


图7E

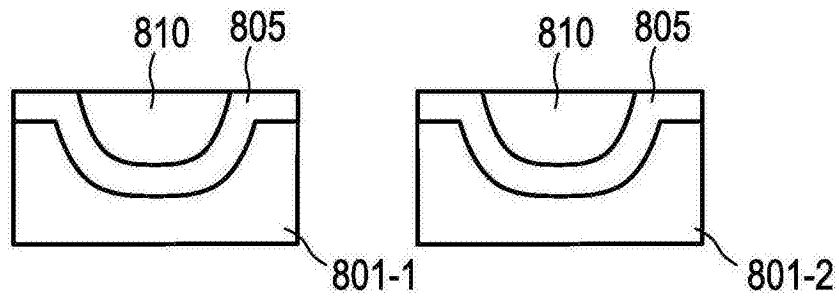


图8A

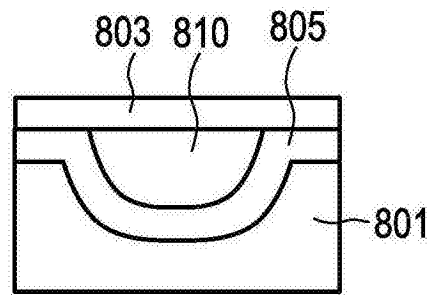


图8B

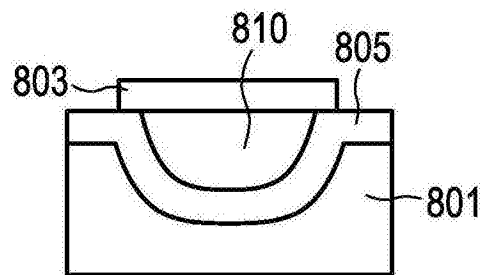


图8C

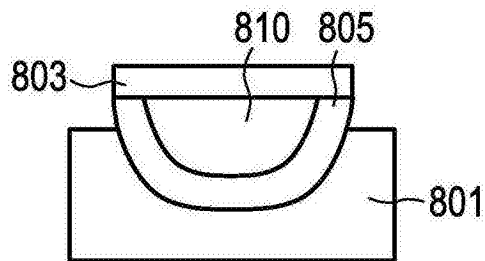


图8D

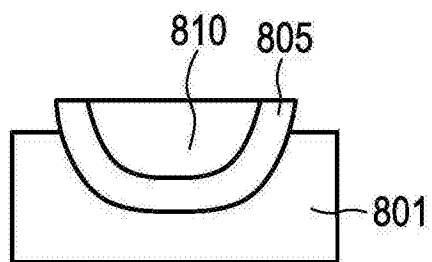


图8E

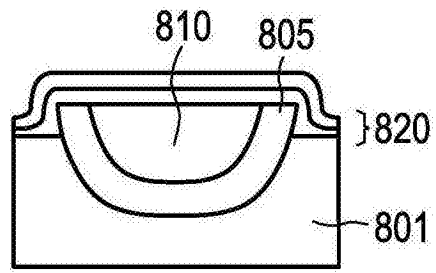


图8F

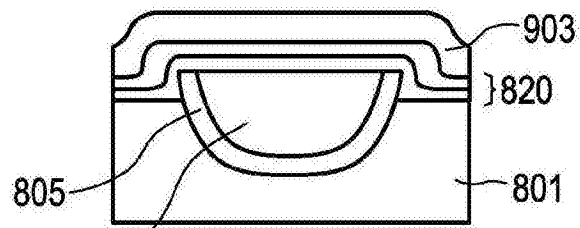


图9A

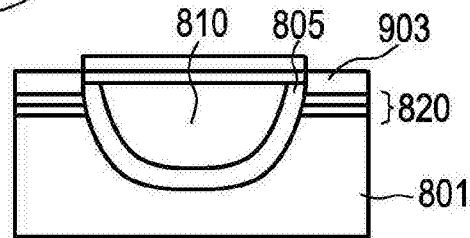


图9B

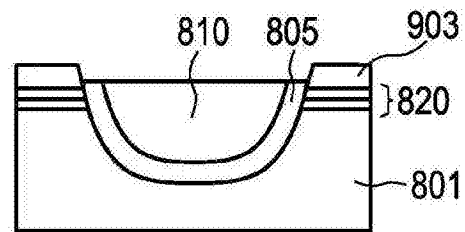


图9C

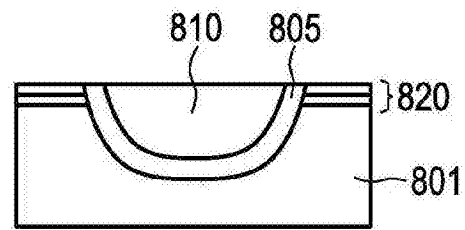


图9D

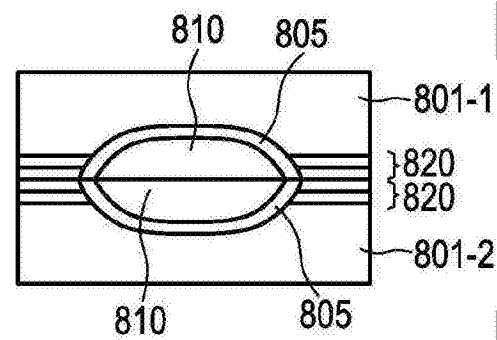


图9E

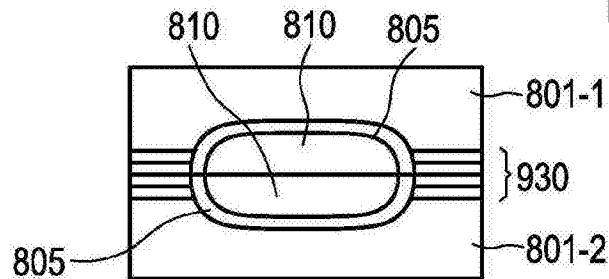


图9F

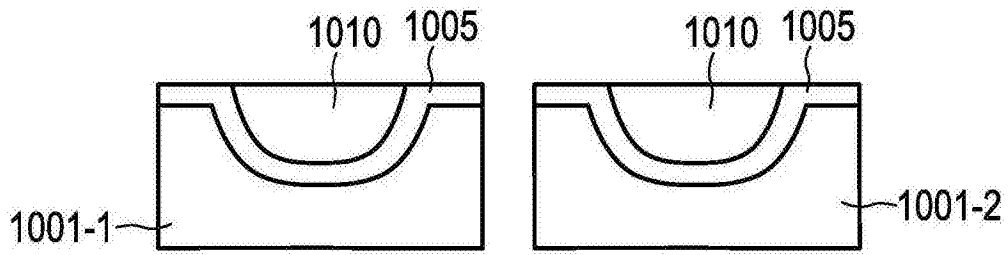


图10A

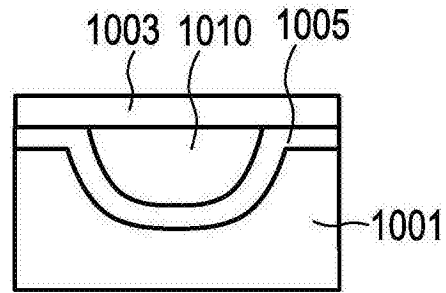


图10B

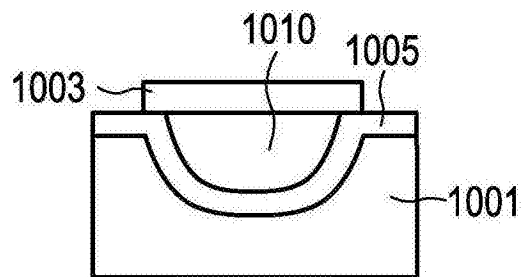


图10C

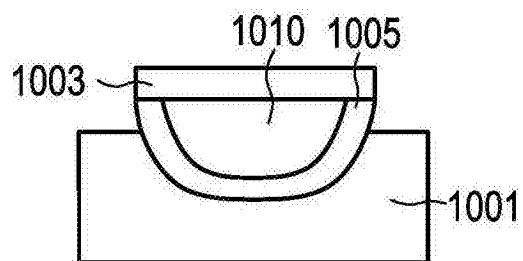


图10D

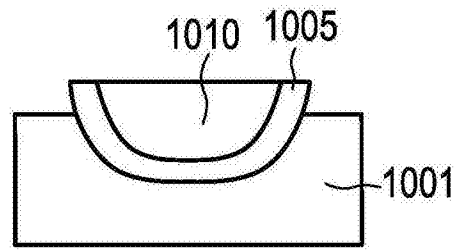


图10E

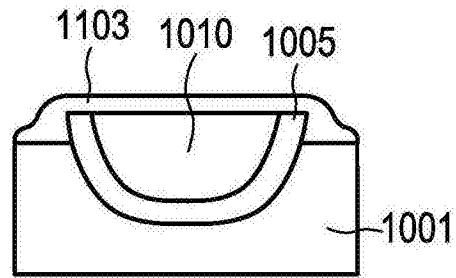


图10F

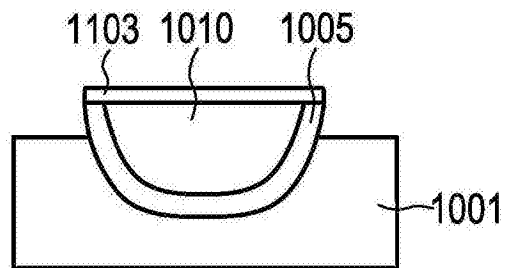


图11A

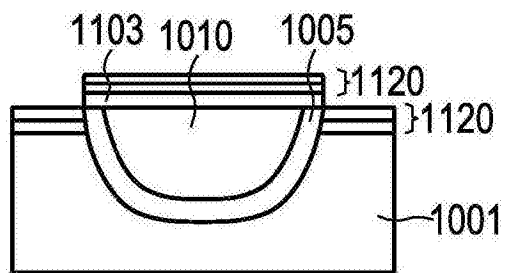


图11B

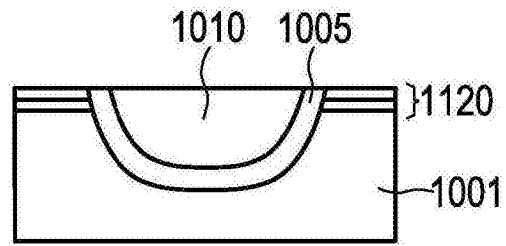


图11C

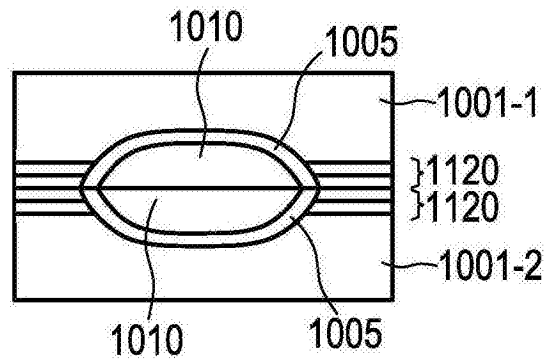


图11D

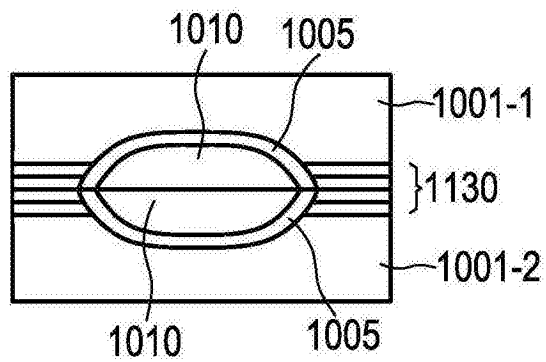


图11E

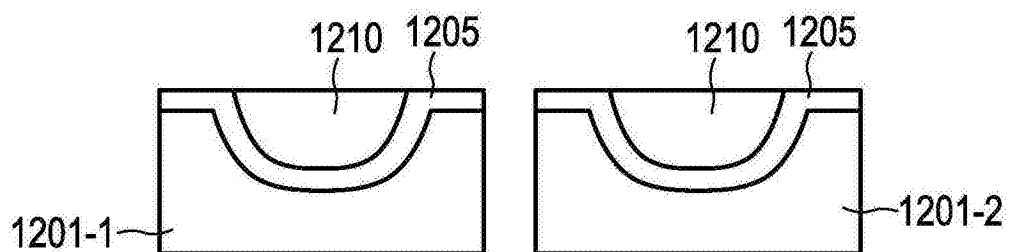


图12A

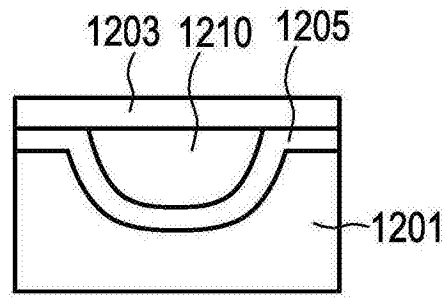


图12B

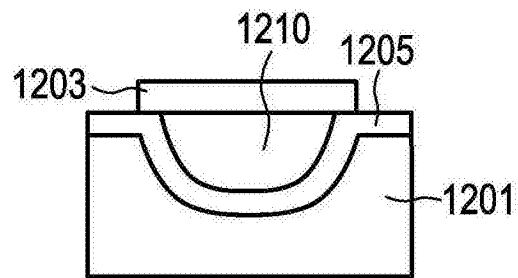


图12C

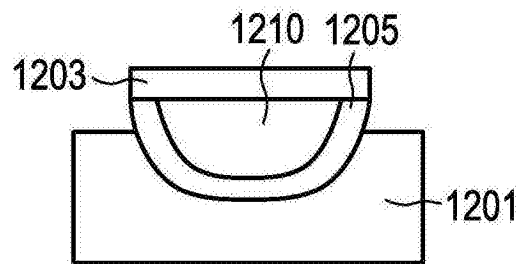


图12D

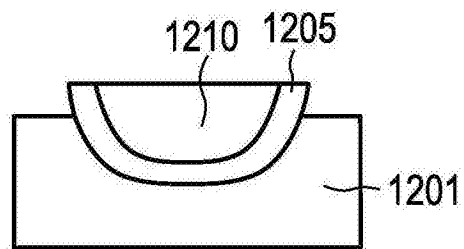


图12E

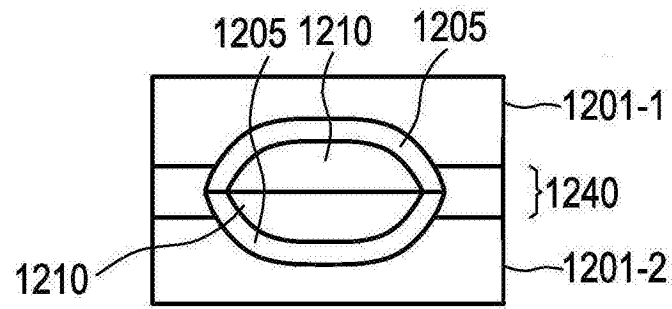


图12F

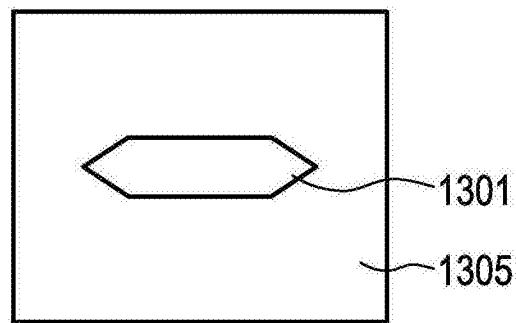


图13A



图13B

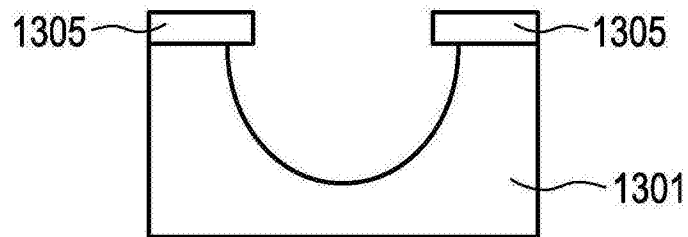


图13C

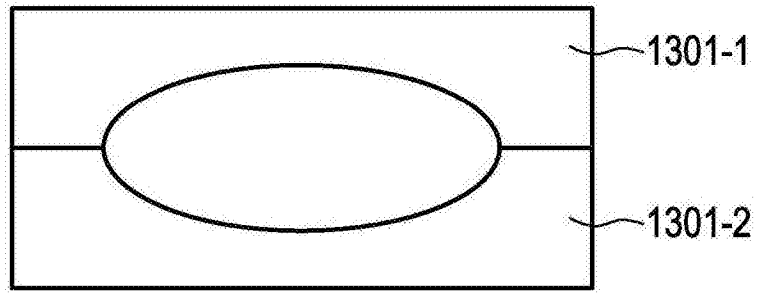


图13D



图14A

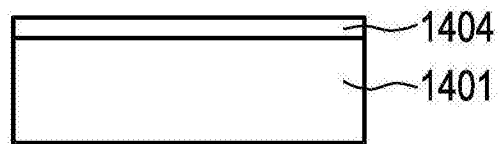


图14B

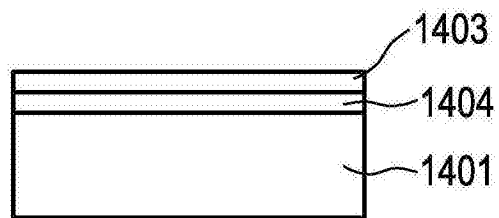


图14C

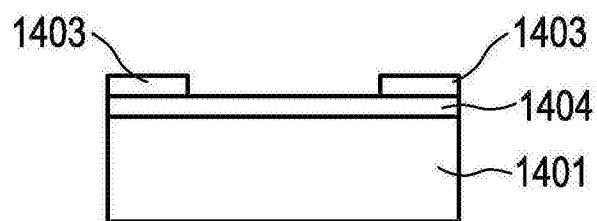


图14D

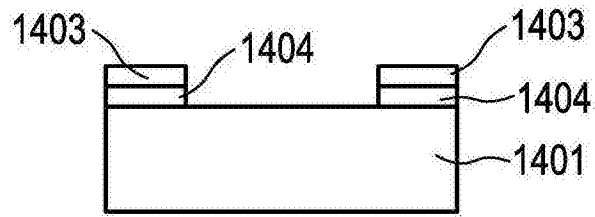


图14E

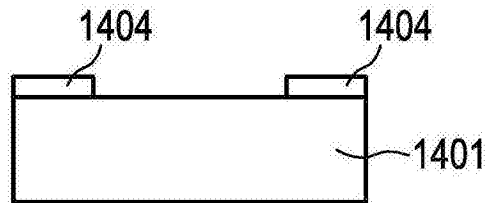


图14F

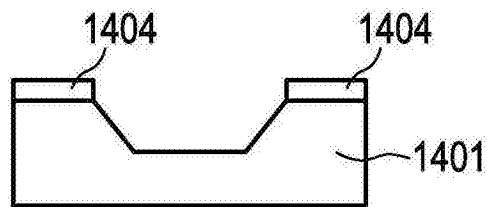


图14G

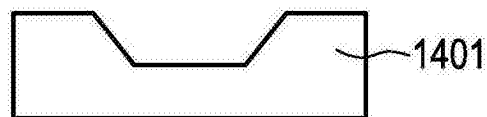


图14H

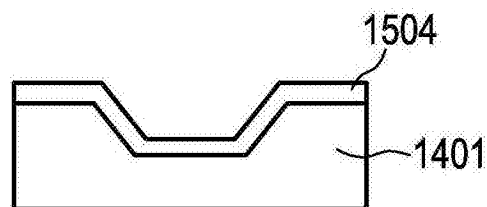


图14I

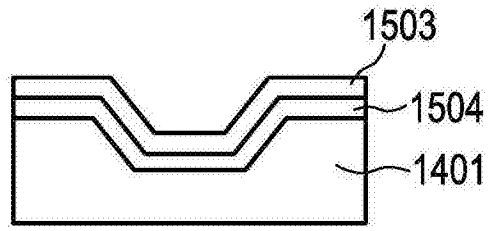


图14J

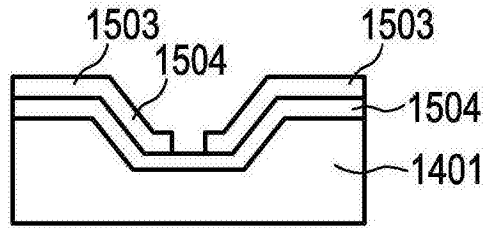


图15A

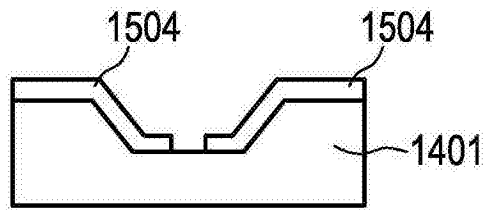


图15B

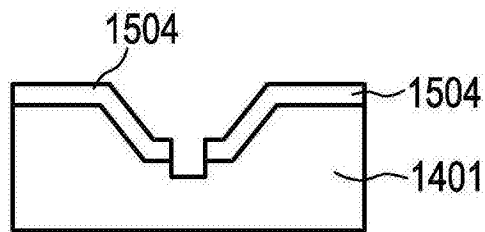


图15C

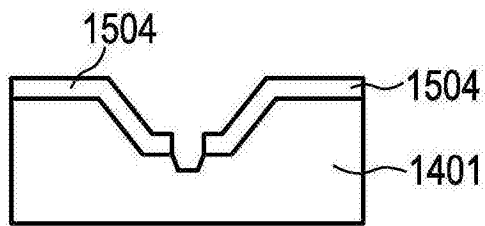


图15D

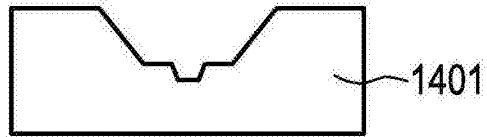


图15E

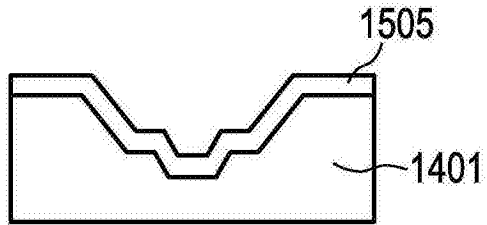


图15F

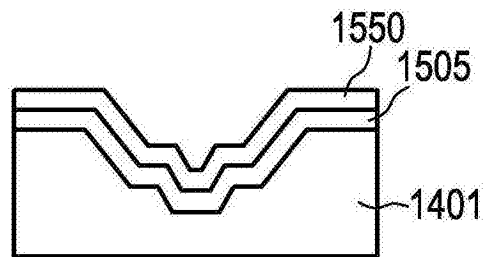


图15G

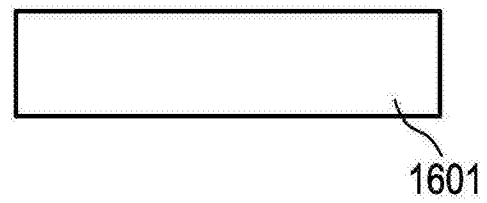


图16A

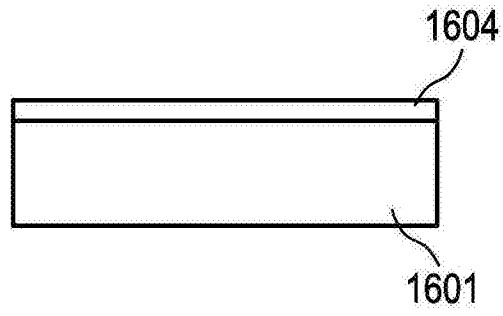


图16B

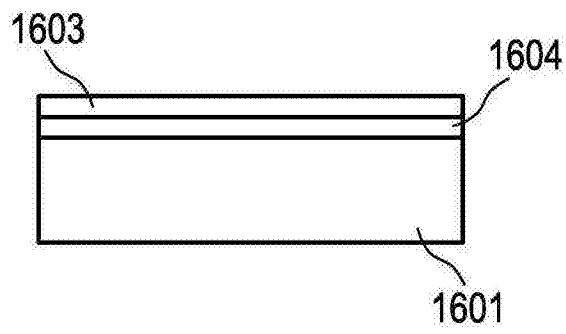


图16C

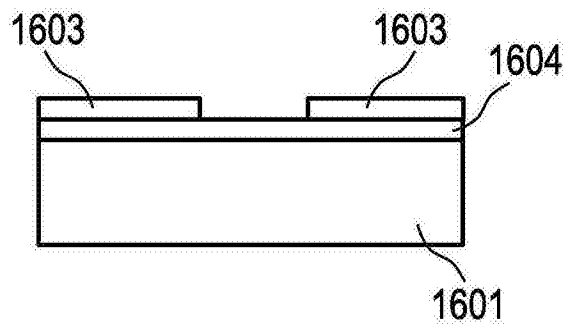


图16D

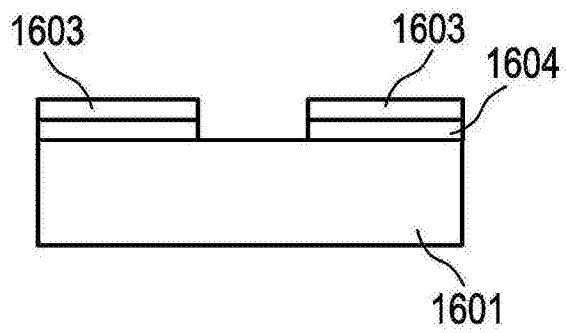


图16E

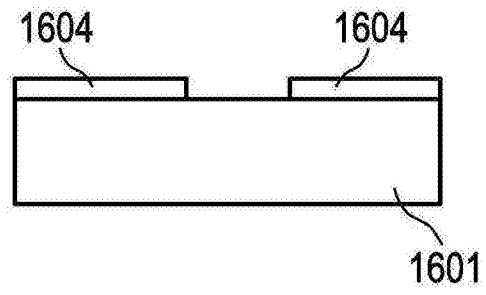


图16F

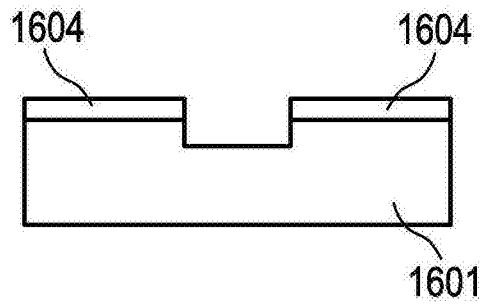


图16G

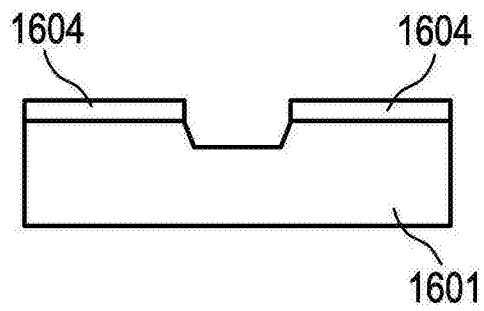


图16H

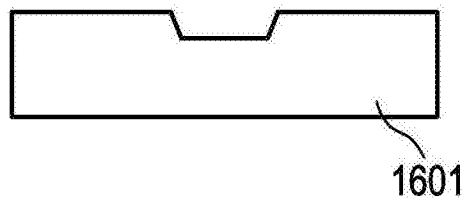


图16I

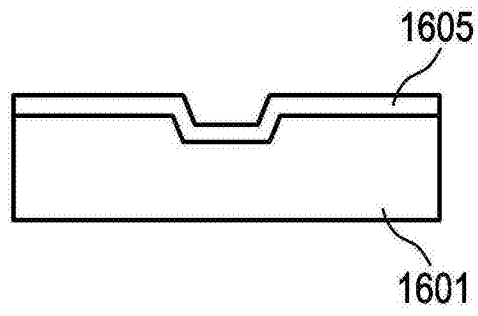


图16J

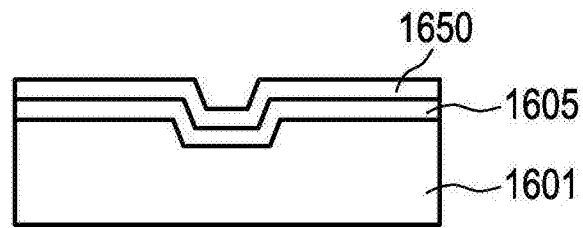


图17A

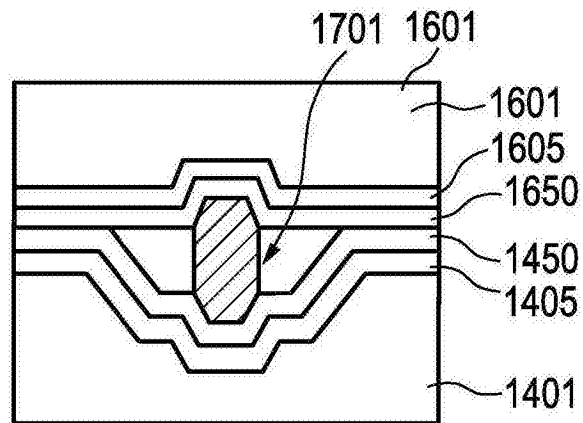


图17B

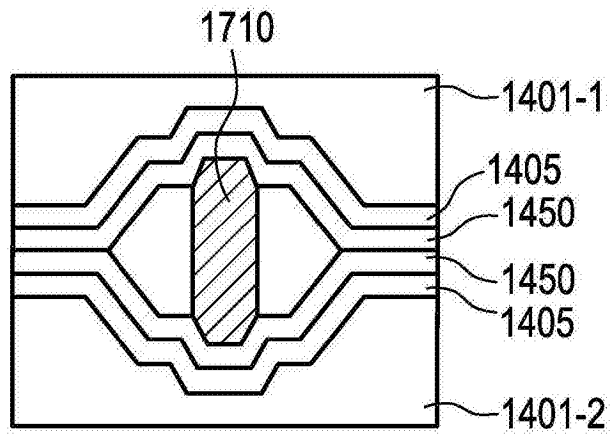


图17C

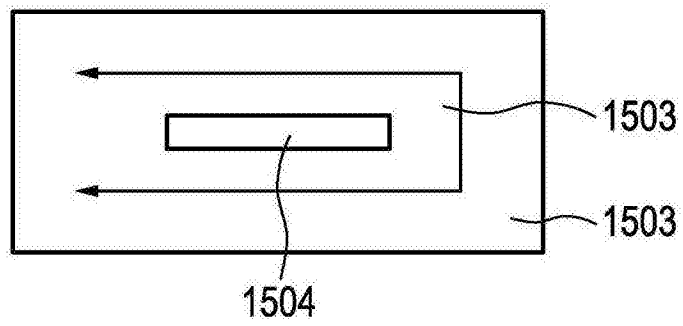


图18A

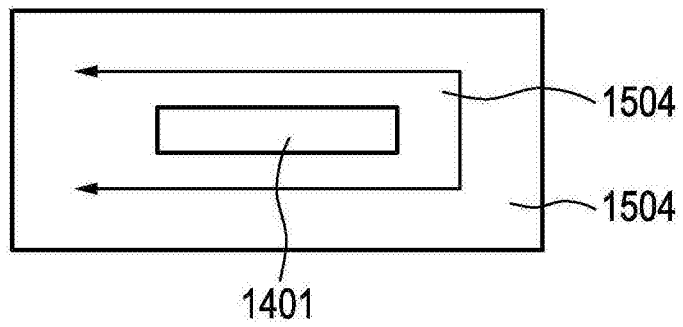


图18B

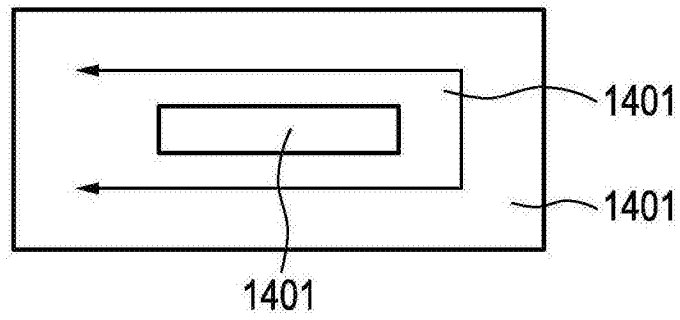


图18C

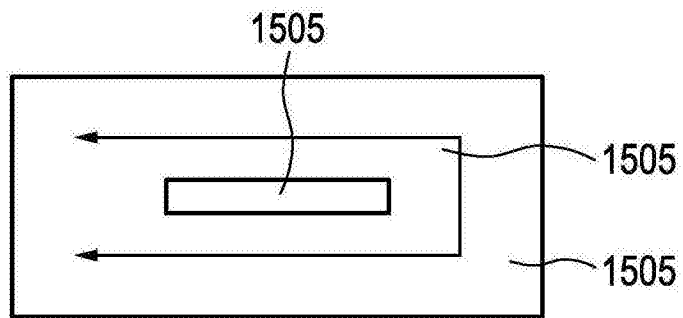


图18D

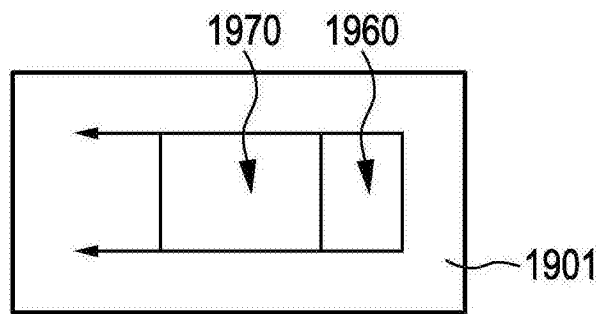


图19A

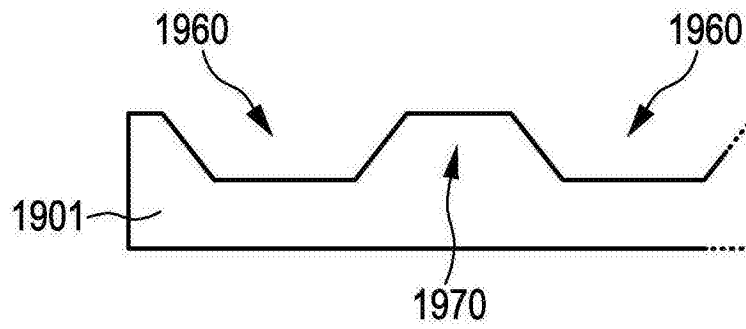


图19B

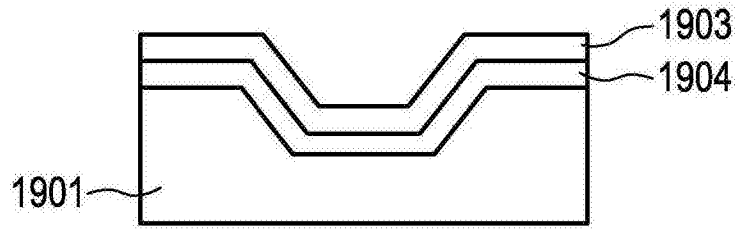


图19C

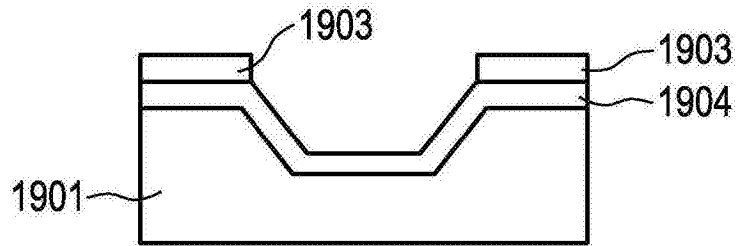


图19D

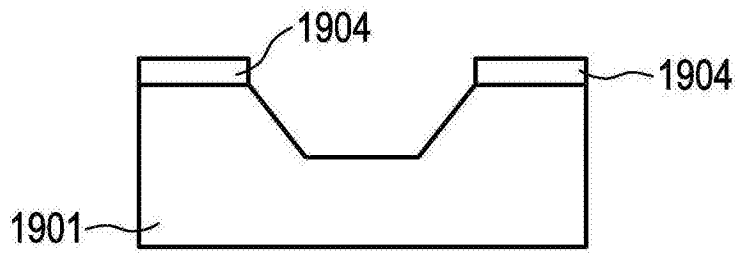


图20A

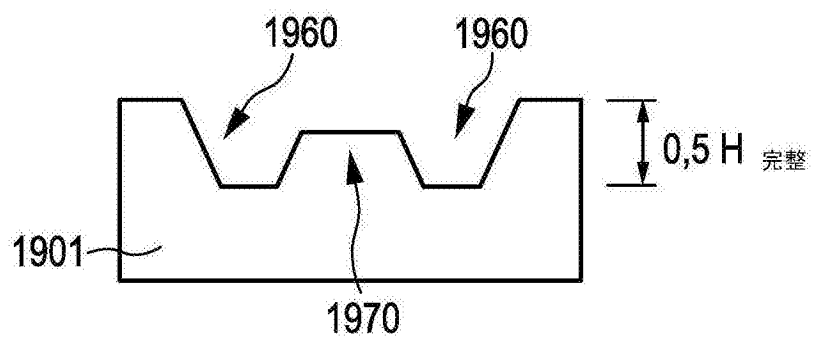


图20B

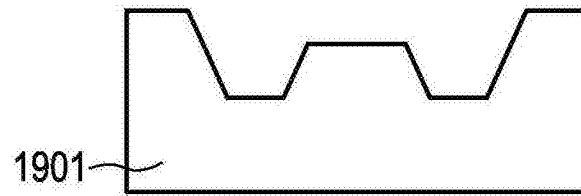


图20C

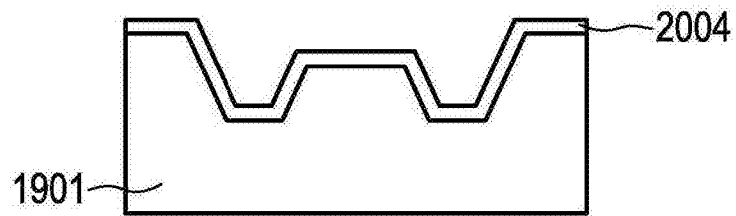


图20D

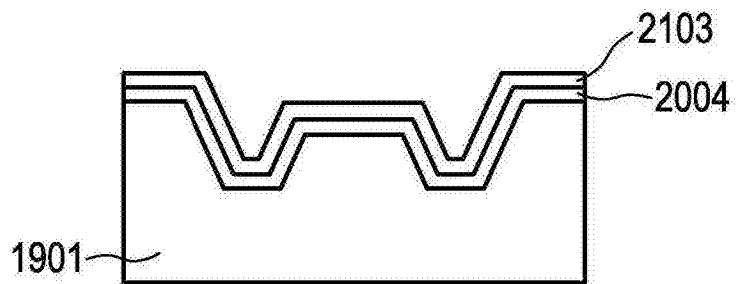


图21A

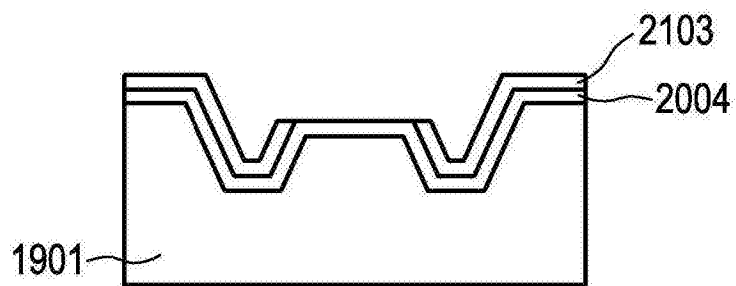
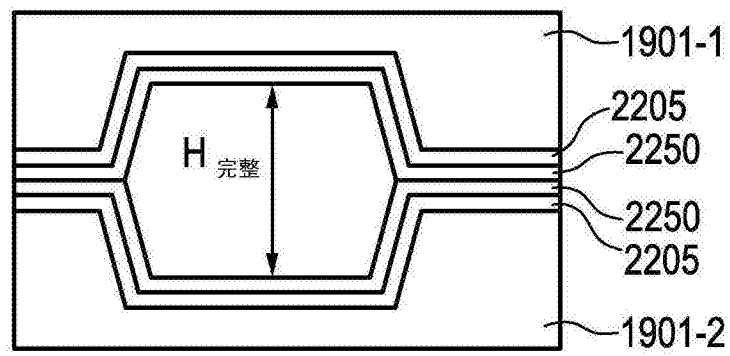
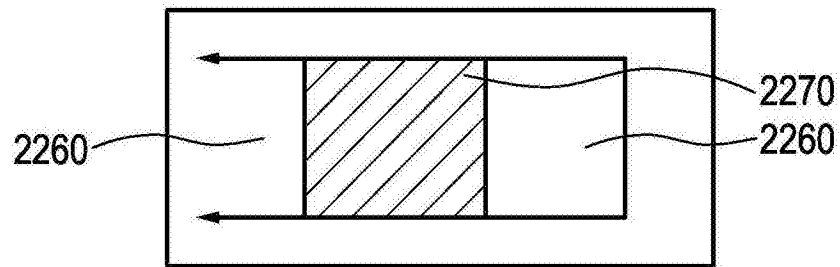
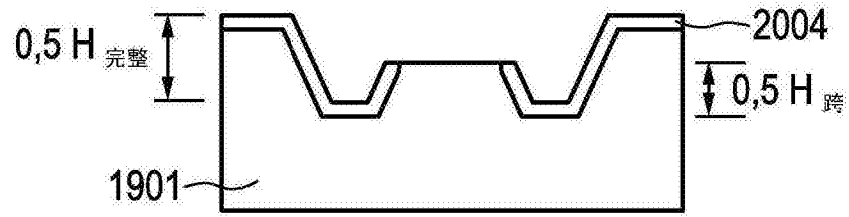


图21B



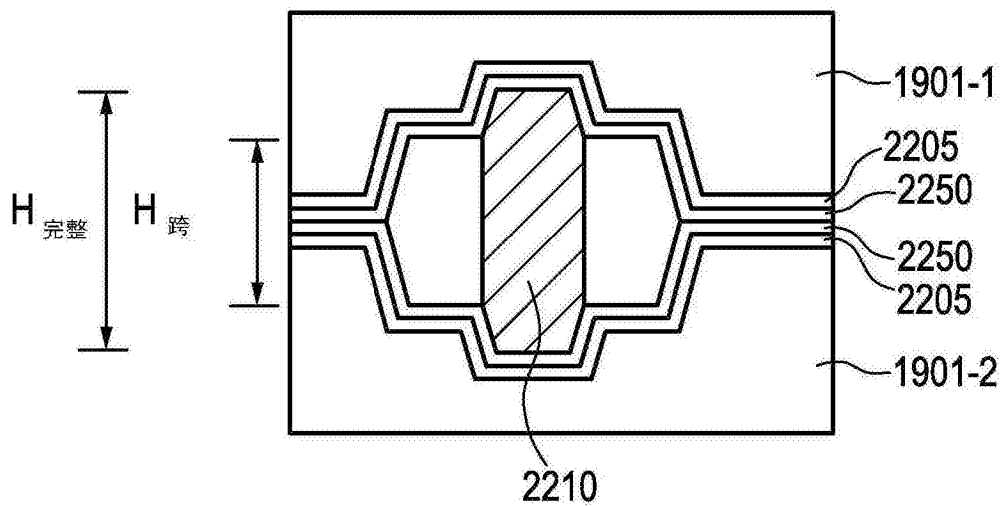


图22C

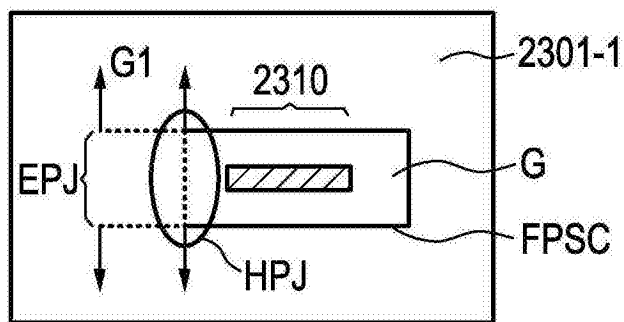


图23A

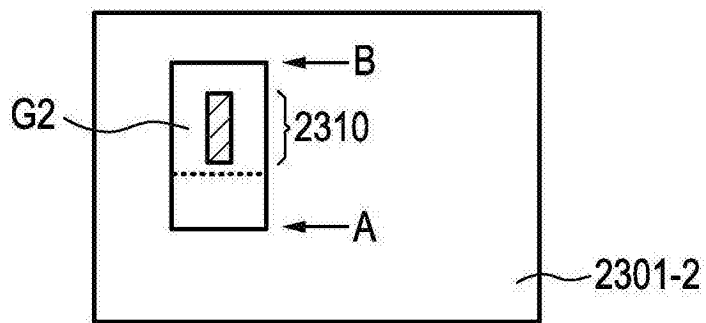
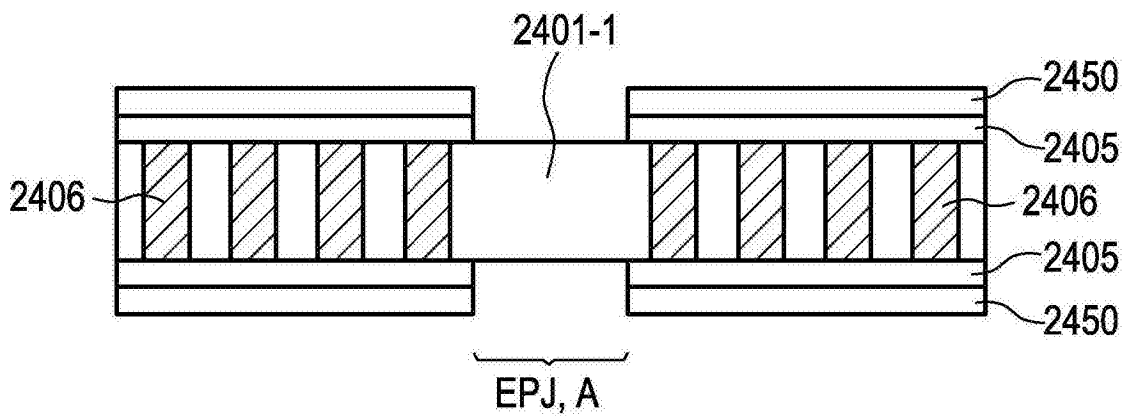
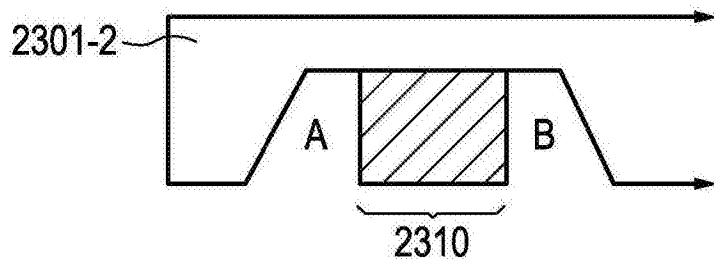
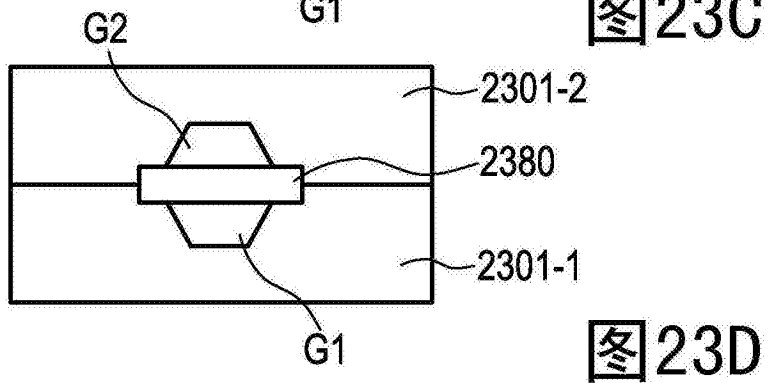
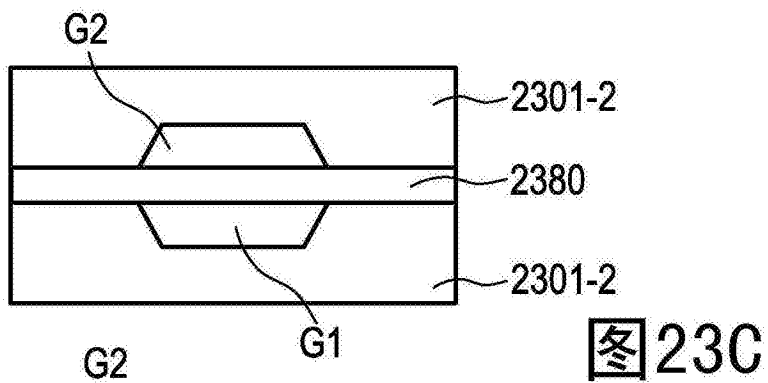


图23B



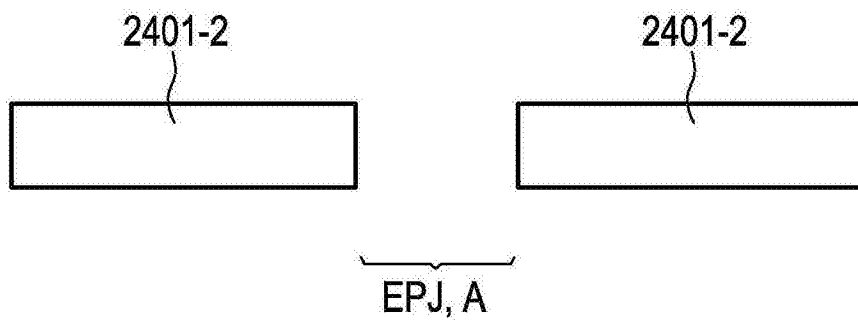


图24B

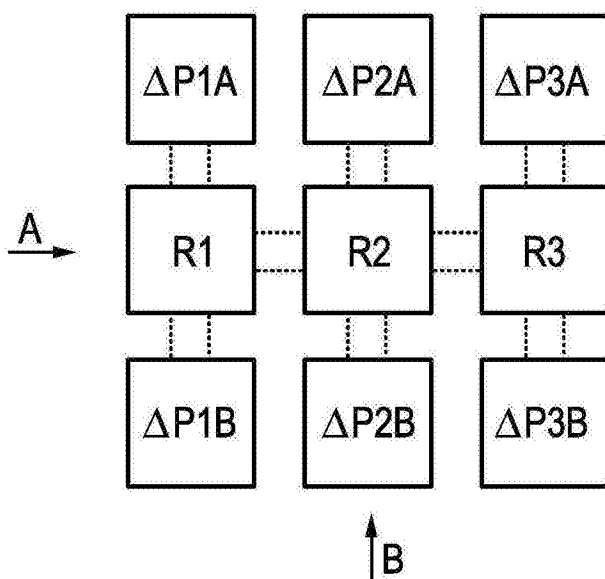


图25A

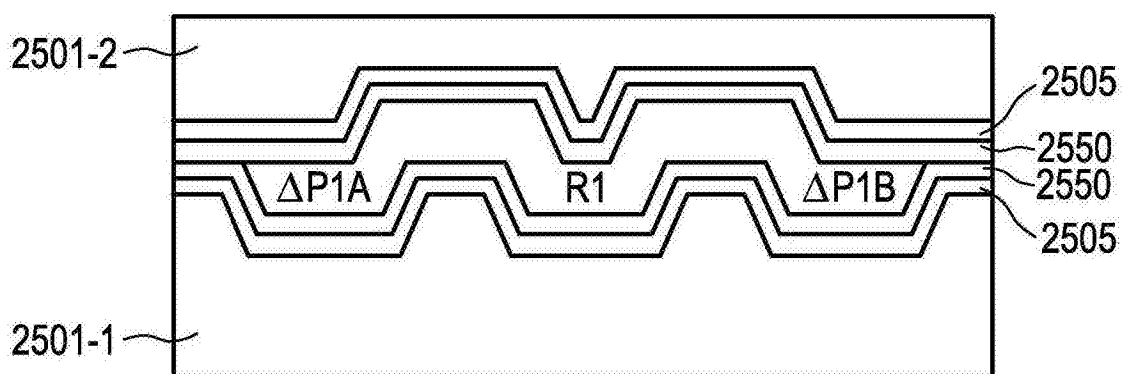


图25B

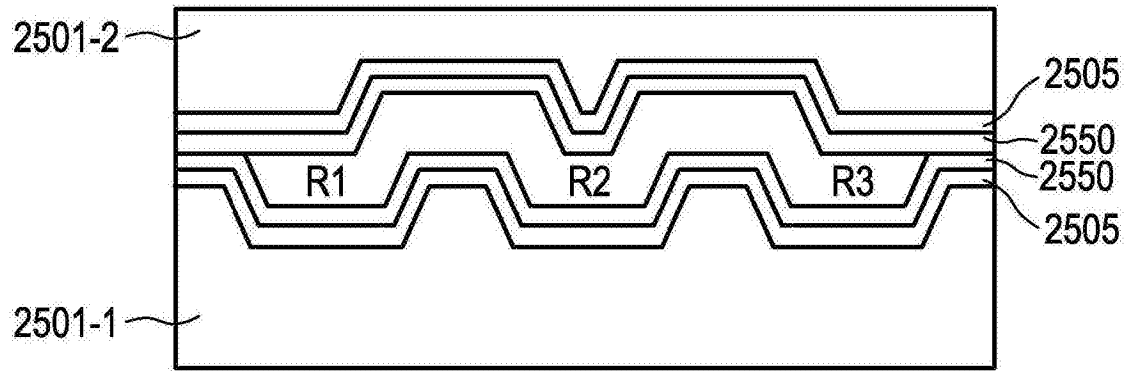


图25C

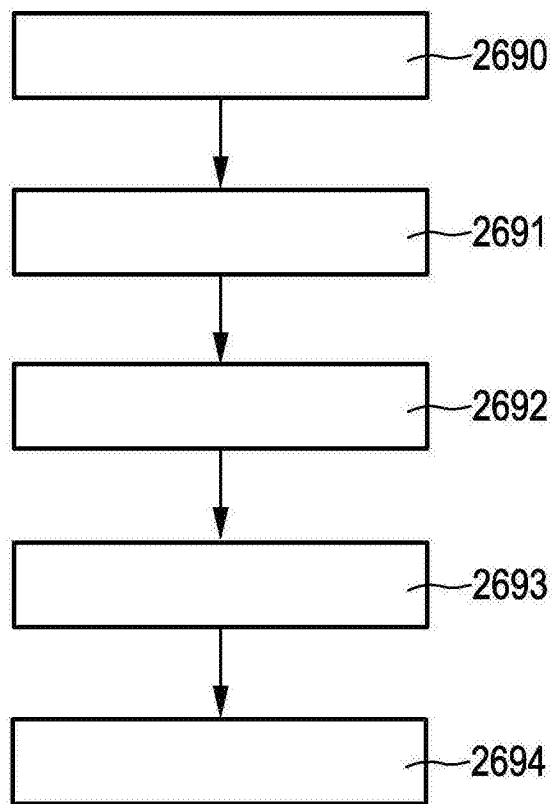


图26