



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109599489 A

(43)申请公布日 2019.04.09

(21)申请号 201811186644.9

(22)申请日 2018.10.12

(71)申请人 复旦大学

地址 200433 上海市杨浦区邯郸路220号

(72)发明人 徐玲 周盛锐 卢基存 杨颖琳  
史传进

(74)专利代理机构 上海正旦专利代理有限公司  
31200

代理人 陆飞 陆尤

(51) Int. Cl.

H01L 49/02(2006.01)

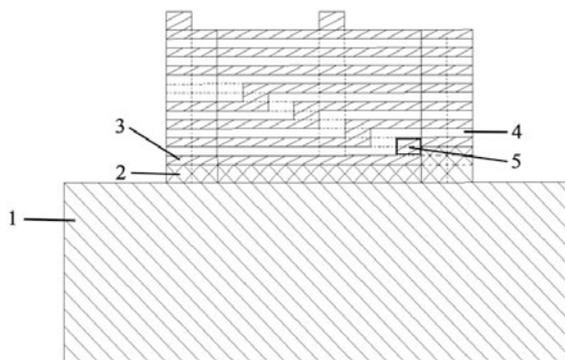
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

基于MEMS工艺的高Q值三维螺旋结构电感及其制作方法

(57)摘要

本发明属于微电子技术领域,具体为基于MEMS工艺的高Q值三维螺旋结构集成电感及其制作方法。本发明的三维螺旋结构集成电感包括硅基体、基层绝缘层、螺旋线圈、螺旋线圈间支撑物;所述基层绝缘层用于隔离电感螺旋线圈与硅基体,螺旋线圈通过线圈间绝缘层中的柱状金属形成电气连接。本发明采用改良的三维垂直集成方案,通过基层绝缘层隔离电感和硅衬底,降低衬底损耗,并通过绝缘材料支撑垂直螺旋结构,在较小的面积内向上垂直集成多层线圈,最终形成损耗低、杂散寄生电容小、具有高Q值、同时与封装工艺兼容、机械稳定的微型集成电感。



1. 一种基于MEMS工艺的高Q值三维螺旋结构集成电感,其特征在于,包括:硅基体(1)、基层绝缘层(2)、螺旋线圈(3)、螺旋线圈间支撑物(4);所述基层绝缘层(2)用于隔离电感螺旋线圈(3)与硅基体(1),所述螺旋线圈(3)通过线圈间绝缘层中的柱状金属(5)形成电气连接;其中:

螺旋线圈(3)中单层螺旋线圈为带有缺角的八角形、“8”字形、圆角矩形或其他类似形状,线宽10~15  $\mu\text{m}$ ;

每一层的螺旋线圈结构相同,仅缺角位置不同。

2. 根据权利要求1所述的高Q值三维螺旋结构集成电感,其特征在于,螺旋线圈的金属层采用电镀工艺形成,镀层金属为铜,厚度为3~5  $\mu\text{m}$ 。

3. 根据权利要求1所述的高Q值三维螺旋结构集成电感,其特征在于,所述螺旋线圈间支撑物(4)为多个,支撑物材料为光敏绝缘材料;支撑层厚度为3~5  $\mu\text{m}$ 。

4. 根据权利要求1所述的高Q值三维螺旋结构集成电感,其特征在于,所述螺旋线圈(3)的层数为一层到八层。

5. 根据权利要求1所述的高Q值三维螺旋结构集成电感,其特征在于所述基层绝缘层(2)的厚度为6~10  $\mu\text{m}$ 。

6. 一种高Q值三维螺旋结构集成电感的制作方法,是基于MEMS工艺的,其特征在於,具体步骤如下:

步骤1:通过等离子增强化学气相淀积方法在硅片上生长一层厚度为6~10  $\mu\text{m}$ 的 $\text{SiO}_2$ 介质层,作为基层绝缘层,用于隔离电感线圈与硅基;

步骤2:对基层绝缘层进行光刻,形成带缺口的螺旋线圈图案,并经刻蚀、溅射粘附层和种子层、铜电镀工艺形成线圈;其中:

所述刻蚀工艺,采用BOE溶液对线圈图案进行湿法刻蚀,其刻蚀速率约为300-400nm/min,通过控制时间对 $\text{SiO}_2$ 实现不同厚度的刻蚀,形成第一层线圈凹槽;

所述溅射工艺,采用磁控溅射的方法溅射TiW和Cu分别形成粘附层和电镀种子层;

所述电镀工艺,采用硫酸铜溶液作为电解液,电镀形成3-5 $\mu\text{m}$ 厚的带缺口的螺旋线圈;

步骤3:在已成型的螺旋线圈上涂覆所需厚度的光敏绝缘材料,作为线圈间支撑物,并进行光刻、显影清洗,形成通孔,经溅射粘附层、种子层及电镀铜工艺后,通孔中填满铜,形成铜微柱用以连接下一层线圈;

步骤4:在形成铜通孔的线圈间支撑物上进行下一层线圈的光刻、显影、清洗,形成带缺口的螺旋线圈图案,并经溅射粘附层和种子层、铜电镀工艺形成线圈;

重复步骤3和步骤4,形成多层线圈结构,最终形成多层三维垂直螺旋结构集成电感。

7. 根据权利要求6所述的制作方法,其特征在於,步骤3和步骤4中所述显影、清洗,是将曝光完成的硅片浸入显影液中进行显影;显影完成后,在去离子水中浸泡定影;再用去离子水冲洗硅片并吹干;

所述溅射及电镀工艺同步骤2。

## 基于MEMS工艺的高Q值三维螺旋结构电感及其制作方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于微电子技术领域,具体涉及一种高Q值三维螺旋结构电感及其制作方法。

### 背景技术

[0002] 近30年来,随着电子通信技术的发展、智能消费电子等手持设备的功能不断增加,电感作为关键元件之一,被大量使用在集成电路中,起到匹配网络、滤波、储存能量、扼流等作用。传统分立式电感由于其封装成本、尺寸及性能条件的制约,已经不再满足日益增长的需求,具有低能耗、小尺寸、低噪声、高频段的电感需求量持续增加。

[0003] 集成电感器通常采用金属螺旋形式实现,通过选择其特征尺寸、形状结构及实现方式,可以实现对集成电感器的不同设计与改善提高。此外由于标准的CMOS射频电路通常是在低电阻率的衬底上形成的,平面螺旋电感通常会因为严重的衬底和欧姆损耗而表现出较低的Q值,随着IC工作频率的增加,衬底损耗会越来越严重,导致平面电感器的性能降低。为了减少衬底损耗与欧姆损耗,MEMS工艺领域在这方面作出了许多技术的努力,通过改变衬底材料、电感结构以及填充材料等方法,不断提高电感性能。

[0004] 对现有文献资料进行分析发现,已有的提高集成电感性能的方法包括:(1)改良衬底以降低寄生效应和衬底损耗,包括利用HF电化学阳极氧化在P+硅衬底中局部形成多孔硅,采用多孔硅衬底制作平面电感器<sup>[1]</sup>,或使用柔性塑料衬底和低K电介质膜改良衬底,有效降低分流电导和电容及电感器串联电阻的涡流部分,以实现更高的Q值。(2)优化集成电感结构,包括悬浮梁支撑二维螺旋电感<sup>[2,3]</sup>,即采用具有十字形夹层膜支撑的坚固的微机械螺旋电感器,增强了结构刚性和信号稳定性,并消除工作温度变化引起的电感变化,同时悬浮梁结构去除其下面的硅衬底以抑制衬底损耗,提高Q值;设计三维螺旋管电感器<sup>[4]</sup>,通过在衬底和导体线圈之间引入气隙以减小衬底介电常数的影响,所制成的电感具有更少的基板依赖性磁性、更少的杂散电容和更高的Q因子;嵌入式悬浮螺管结构电感<sup>[5]</sup>,通过紧凑布局,在保证电感性能的同时节省占用面积50%。

[0005] 然而上述各类方法分别存在工艺复杂度、IC兼容集成不方便、后续封装困难、机械稳定性不足、工艺成本高难度大等各式问题,难全齐美。

[0006] [1] Chong K, Xie Y, Yu K, Huang D and Chang M. High-performance inductors integrated on porous silicon. IEEE Electron Device Letters 2005; 26:93-95.

[2] Lin J, Chen C and Cheng Y. A robust high-Q micromachined RF inductor for RFIC applications. IEEE Transactions on Electron Devices 2005; 52:1489-1496.

[3] Yoon J, Choi Y, Kim B, Eo Y, and Yoon E. CMOS-compatible surface-micromachined suspended-spiral inductors for multi-GHz silicon RF ICs. IEEE Electron Device Letters 2002; 23:591-593.

[4] Kim Y and Allen M. Surface micromachined solenoid inductors for high frequency applications. IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology: PART C 1998; 21:26-33.

[5] Gu L and Li X. Concave-suspended high-Q solenoid inductors with an RFIC-compatible bulkmicromachining technology. IEEE Transactions on Electron Devices 2007; 54:882-885.。

## 发明内容

[0007] 本发明的目的在于克服上述电感结构的不足,提供一种能有效抑制基板损耗,杂散寄生电容小的高Q值三维螺旋结构电感及其制作方法。

[0008] 本发明提供的高Q值三维螺旋结构电感,是基于MEMS工艺的,采用改良的三维垂直集成方案,在较小的面积内向上垂直集成多层线圈,通过绝缘材料支撑垂直螺旋结构。

[0009] 本发明提供的基于MEMS工艺的高Q值三维螺旋结构集成电感,包括硅基体1、基层绝缘层2、螺旋线圈3、线圈间支撑物4;所述基层绝缘层2用于隔离电感螺旋线圈3与硅基体1;所述螺旋线圈3通过线圈间绝缘层中的柱状金属5形成电气连接。

[0010] 本发明中,基层绝缘层厚度为6~10  $\mu\text{m}$ ,可采用等离子增强化学气相淀积方法,分两步实现,每次生长3~5  $\mu\text{m}$ 。

[0011] 本发明中,单层螺旋线圈3为带有缺角的八角形、“8”字形、圆角矩形或其他类似形状,线宽10~15  $\mu\text{m}$ ,外部尺寸按照需求设计,可控制在180  $\mu\text{m}$ 以内。

[0012] 本发明中,螺旋线圈中,每一层的螺旋线圈结构相同,仅缺角位置不同,具有重复性;通过缺角形成通孔,为实现层与层之间的电气互连做准备。

[0013] 本发明中,所述的单层螺旋线圈结构,通过光刻和湿法刻蚀工艺实现螺旋线圈凹陷结构,由于多层线圈结构具有重复性,光刻工艺只需调整光刻掩模版(Mask)的角度,即可重复利用掩模版以实现多层光刻工艺,节约成本。

[0014] 本发明中,所述的缺口及通孔,通过线圈间支撑物采用光刻及刻蚀工艺形成通孔,再通过溅射种子层和粘附层及后续电镀工艺,形成柱状金属以提供电气连接。

[0015] 本发明中,采用磁控溅射TiW和Cu分别形成粘附层和电镀种子层。

[0016] 本发明中,螺旋线圈金属层采用电镀工艺形成,镀层金属为铜,厚度为3~5  $\mu\text{m}$ 。

[0017] 本发明中,多个螺旋线圈间支撑物为光敏绝缘材料,支持光刻工艺,简化电感制造工艺,如光敏PI材料或硅氧烷基光敏绝缘胶(如SAP2038型号)材料。

[0018] 本发明中,多个螺旋线圈之间支撑层厚度为3~5  $\mu\text{m}$ 。

[0019] 本发明中,螺旋线圈的层数具有可扩充性,根据对电感品质因数和感值大小的需求,可以从单层扩展到八层,调整工艺控制良好时甚至达更多层。

[0020] 本发明还提供上述高Q值三维螺旋结构电感的制作方法,具体步骤如下:

步骤1:通过等离子增强化学气相淀积(PECVD)方法在硅片上生长一层厚度为6~10  $\mu\text{m}$ 的SiO<sub>2</sub>介质层,作为基层绝缘层,用于隔离电感线圈与硅基,降低衬底损耗;

所述基层绝缘层绝缘性好、厚度较大,也可采用其他工艺或绝缘材料进行替代。生长时可分两步实现,每次生长3~5  $\mu\text{m}$ ;

步骤2:对基层绝缘层进行光刻,形成带缺口的螺旋线圈图案,并经刻蚀、溅射粘附层和

种子层、铜电镀等工艺形成线圈；

由于螺旋线圈图案每一层都类似，仅缺口位置不同，因此，光刻工艺只需调整光刻掩模版(Mask)的角度，即可以实现多层光刻工艺，节约成本；

所述刻蚀，采用BOE溶液对线圈图案进行湿法刻蚀，通过控制时间对SiO<sub>2</sub>实现不同厚度的刻蚀，形成第一层线圈凹槽；

所述溅射工艺，采用磁控溅射的方法溅射TiW和Cu分别形成粘附层和电镀种子层；

所述电镀工艺，采用硫酸铜溶液作为电解液，电镀形成3-5um厚的带缺口的螺旋线圈；

步骤3:在已成型的螺旋线圈上涂覆所需厚度的光敏绝缘材料，作为线圈间支撑物，并进行光刻、显影清洗，形成通孔，经溅射粘附层、种子层及电镀铜工艺后，通孔中填满铜，形成铜微柱用以连接下一层线圈；

步骤4:在形成铜通孔的线圈间支撑物上进行下一层线圈的光刻、显影、清洗，形成带缺口的螺旋线圈图案，并经溅射粘附层和种子层、铜电镀工艺形成线圈；

重复步骤3和步骤4，形成多层线圈结构，最终形成多层三维垂直螺旋结构集成电感。

[0021] 步骤3和步骤4中所述显影、清洗，是将曝光完成的硅片浸入显影液中进行显影，显影完成后，在去离子水中浸泡定影，再用去离子水冲洗硅片并吹干。

[0022] 所述溅射及电镀工艺同步骤2。

[0023] 本发明可实现高性能垂直螺旋电感器，当螺旋线圈层数为八层、线宽为15um、层间距为5um、外部尺寸为180um时可实现3.5GHz频率时电感品质因数Q峰值达40、电感值达到12nH，自谐振频超过11GHz，可以适用于工作频段在3.4~4.5GHz左右的5G通信设备中，具有较为广泛的应用前景。

[0024] 本发明制作的电感结构，能有效抑制基板损耗、杂散寄生电容小、具有高Q值，同时与封装工艺兼容，具备可制造性、封装兼容性、机械稳定性，成本可控。

## 附图说明

[0025] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0026] 图1是本发明的结构原理图。

[0027] 图2是本发明的俯视图。

[0028] 图中标号:1为硅基体,2为基层绝缘层,3为螺旋线圈,4为线圈间支撑物,5为柱状金属。

## 具体实施方式

[0029] 在图1为一款基于MEMS工艺的高Q值八层螺旋结构集成电感结构，图2为该电感俯视图，其中电感输入、输出端在同一平面，便于后期电感测试及封装。

[0030] 进行光刻工艺前，设计掩模版，这是工艺成本中占比较高的部分。考虑到由于多层线圈的垂直螺旋管电感器具有一定的几何重复性，以设计的8层垂直螺旋管电感器为例，5至8层线圈所需的掩模版图案与1至4层对应工艺的图案几乎完全相同，只需将1至4层的掩模版顺时针旋转90度，即可用于5至8层线圈工艺。因此，在设计掩模版时，将各个结构对应的掩模版图案进行中心对称的“回”字型排布，并做好旋转对准标记，大大减少整套工艺所需掩模版数目，降低制造成本。

[0031] 具体工艺流程如下：

1) 在两寸硅晶圆上通过两次等离子增强化学气相淀积(PECVD)方法共生长6um厚的SiO<sub>2</sub>层作为基层绝缘层,其中单次PECVD淀积生长3um厚的SiO<sub>2</sub>;

2) 在基层绝缘层上涂AZ5214光刻胶、95度下前烘90秒、曝光、显影、坚膜、湿法刻蚀,刻蚀时采用HF : NH<sub>4</sub>F = 1 : 7的BOE溶液对线圈图案进行湿法刻蚀,其刻蚀速率约为300-400nm/min,通过控制时间对SiO<sub>2</sub>实现不同厚度的刻蚀,从而在基层绝缘层SiO<sub>2</sub>层上形成第一层线圈凹槽,通过磁控溅射在形成了线圈图案的硅片上溅射粘附层和电镀种子层,将已溅射了种子层的硅片放入电镀液中电镀金属铜,形成线圈;再利用丙酮去除光刻胶,并用离子束刻蚀方法去除种子层和粘附层。至此,形成第一层螺旋线圈;

3) 在第一层螺旋线圈上涂覆3um厚的光敏绝缘材料作为线圈间支撑物,并进行光刻、显影清洗,形成通孔,经磁控溅射种子层及电镀工艺后通孔中填满铜,形成铜微柱用以连接下一层线圈;

4) 在形成铜通孔的线圈间支撑物上进行下一层线圈的光刻、显影、清洗。显影和清洗时,将曝光完成的硅片浸入2.38%的TMAH显影液中进行显影,时间45秒,开始显影10秒左右适当摇晃硅片;显影完成后,在去离子水中浸泡定影30秒;再用去离子水冲洗硅片并吹干,从而形成带缺口的螺旋线圈图案,并溅射粘附层和种子层,进行铜电镀,形成线圈。至此,形成与第一层螺旋线圈通过铜微柱相连的第二层螺旋线圈;

重复3和4两步工艺,直至形成第八层螺旋线圈。至此,基于MEMS工艺的高Q值八层螺旋结构集成电感工艺完毕。

[0032] 以上通过特定的具体实例说明本发明的实施方式,本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点与功效。本发明还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用,本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用,在没有背离本发明的精神下进行各种修饰或改变。

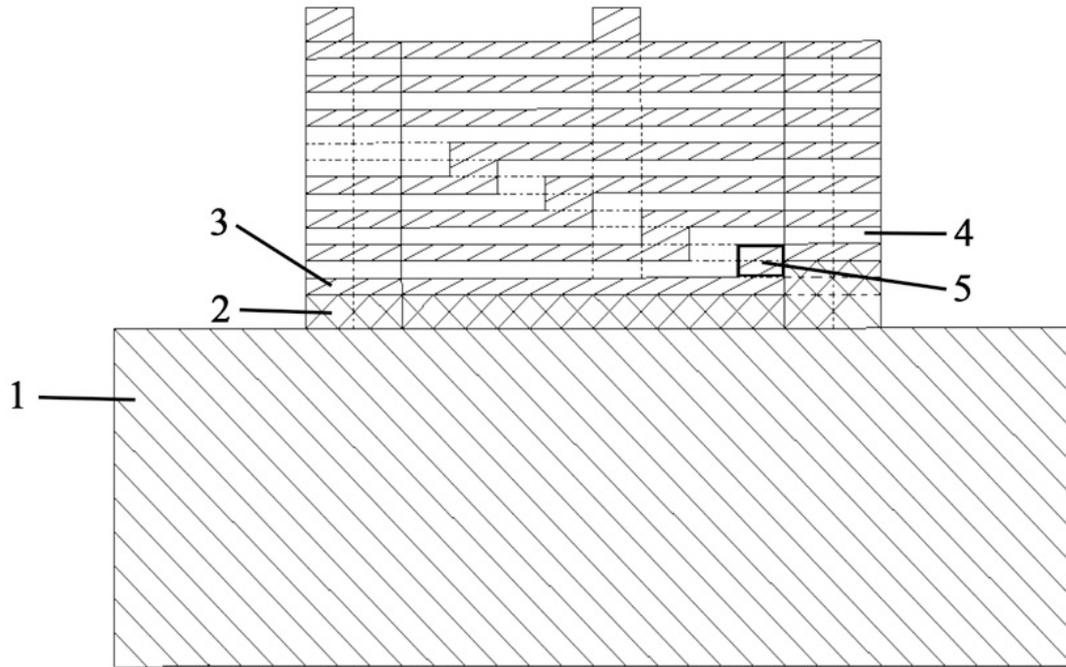


图1

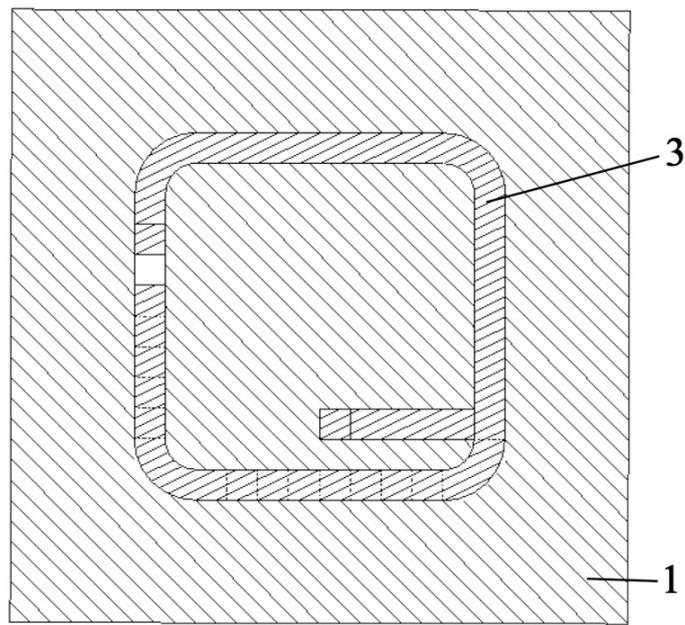


图2