

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610017204.1

[51] Int. Cl.

H01F 41/02 (2006.01)

H01F 5/00 (2006.01)

B81C 1/00 (2006.01)

B81B 7/00 (2006.01)

[43] 公开日 2008 年 3 月 26 日

[11] 公开号 CN 101150008A

[22] 申请日 2006.9.22

[21] 申请号 200610017204.1

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130031 吉林省长春市东南湖大路 16 号

[72] 发明人 刘波 张平 吴一辉 王淑荣
刘永顺 张涛

[74] 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所

代理人 南小平

权利要求书 3 页 说明书 6 页 附图 2 页

[54] 发明名称

聚合物基底双平面电磁线圈的制作方法

[57] 摘要

本发明属于微电子机械系统技术领域，是一种聚合物基底双平面电磁线圈的制作方法。用微机械工艺和聚合物微复制技术，在硅片表面刻蚀线圈微沟槽，以此为初级模版，在其图形上浇铸聚二甲基硅氧烷，固化脱模后便得到具有与硅初级模版图形相反的硅橡胶模版；组装好具有双面图形的一对硅橡胶模版，在其内注塑环氧树脂，固化脱模后便得到具有双面沟槽的环氧树脂线圈基底；在聚合物基底沟槽内进行电铸，得到线圈的金属结构。本发明利用聚合物的优良特性发展了微机械技术，其特点在于：用聚合物替代硅材料，具有良好的韧性，电绝缘性能好，价格便宜；采用的复制技术降低了制造成本，减少了标准微机械制造中的光刻、蚀刻等步骤，并提高了成品率。

1、一种聚合物基底双平面电磁线圈的制作方法，其特征在于：

- a. 利用传统光刻和硅深刻蚀技术制作硅初级模版（6），与其它组件组装成模具，在该模具内注入聚二甲基硅氧烷浇铸液，固化脱模后便得到硅橡胶模版（7）；
- b. 把硅橡胶模版（7）与其它组件组装成模具，在该模具内注入环氧树脂浇铸液，固化脱模后便得到环氧树脂基底，作为平面线圈的聚合物基底（11-1）；
- c. 在聚合物基底（11-1）的沟槽内蒸镀种子层（11-3），以此为电极进行电铸，电铸完成后得到双平面线圈（11）。

2、根据权利要求 1 所述的聚合物基底双平面电磁线圈的制作方法，其特征是制作的聚二甲基硅氧烷硅橡胶模版（7）包括硅橡胶基体（7-1）和支撑片（7-4）；硅橡胶基体（7-1）表面有复制出来的线圈凸起图形（7-2），硅橡胶基体（7-1）上有通孔（7-3）。

3、根据权利要求 1 所述的聚合物基底双平面电磁线圈的制作方法，其特征是制作的线圈的基底（11-1）用聚合物材料制作，在其体内嵌铸有铜过渡导线（11-2），沟槽内沉积铜有种子层（11-3）。

4、根据权利要求 1 所述的聚合物基底双平面电磁线圈的制作方法，其特征是：

- 1) 所述的硅初级模版的制作是在硅片表面刻蚀出与平面线圈具有相同图形的微沟槽，即复制所用的初级模版（6）；
- 2) 由初级模版（6）与其它组件组装成模具浇铸得到硅橡胶模版（7）具有与初级模版（6）相反的凸起图形（7-2）；
- 3) 由一对硅橡胶模版（7）与其它组件组装成模具浇铸得到聚合物基

底（11-1）具有与初级模版（6）相同的微沟槽；

4) 在聚合物基底（11-1）的沟槽内蒸镀种子层，电铸完成后得到线圈的金属导体（11-4），从而完成了聚合物基底双平面线圈（11）的制作。

5、根据权利要求 4 所述的聚合物基底双平面电磁线圈的制作方法，其特征是：

(1) 硅初级模版（6）的制作

(a) 取表面抛光并有 SiO₂ 氧化层的硅片，作为初级模版（6）的基片；

(b) 在基片表面均匀旋涂光刻胶；

(c) 光刻，把预先制作的掩模上的图形转移到光刻胶层上，显影后去除曝光部分的光刻胶；

(d) 用氢氟酸腐蚀液去掉光刻胶窗口部分的 SiO₂，用丙酮清洗掉光刻胶保护层，得到 SiO₂ 掩模图形；

(e) 在 SiO₂ 掩模表面覆盖光刻胶；

(f) 光刻、显影后显露出来的是小圆孔形的硅表面，其位置是所有线圈终端需要双面连接处；

(g) 用该光刻胶作掩模，在感应耦合等离子刻蚀机中做干法深刻蚀，得到一定深度的小圆坑，浇铸制作硅橡胶模版时要用铸芯的方法制作连线通孔，其铸孔型芯即要在此圆坑中定位；

(h) 去除掩模光刻胶后继续做干法深刻蚀，用 d 步骤制作出的 SiO₂ 作掩模，得到线圈图形的凹槽；

(2) 将上述制作出的初级模版（6）与橡胶挡圈（1）、有机玻璃板（2）、塑料垫块（5）、铸孔型芯（3）组装成模具，把二甲基硅氧烷混合液浇注入模具型腔，固化成型后取下橡胶挡圈（1）和有机玻璃板（2），把铸件从硅初级模版（6）上剥离，抽出铸孔型芯（3）后便在硅橡胶板体上留下通孔（7-3），而支撑片（7-4）则留在硅橡胶基体内，硅橡胶模版（7）的厚度

由塑料垫块（5）的高度决定；

(3) 把上述制得的硅橡胶模版（7）与平玻璃板（8）、塑料封圈（9）、弹性夹（10）组装成模具；两硅橡胶模版（7）按图形对准，之间夹上开有浇口的塑料封圈（9），在两硅橡胶模版（7）对准的穿销孔（7-3）中插入铜过渡导线（11-2），最后两面贴上平玻璃板（8），再用弹性夹（10）夹紧，形成用于浇注环氧树脂的薄层型腔；把环氧树脂和固化剂充分搅拌使之混合均匀，混合液放入真空中排除气泡，然后注入组合模具中，固化成型、脱模后即得到双侧表面附有微沟槽的聚合物基底（11-1）；

(4) 上述方法制得的聚合物基底（11-1），内有连通双面图形的过渡导线（11-2）；采用热蒸发的方法在聚合物线圈基底（11-1）沟槽内沉积铜种子层（11-3）；在硫酸铜溶液中电铸生成金属导体（11-4），最终得到双平面线圈。

6、根据权利要求 5 所述的聚合物基底双平面电磁线圈的制作方法，其特征是用微机械技术制作的硅初级模版（6）制作完成后，把初级模版（6）粘到玻璃板（4）上。

聚合物基底双平面电磁线圈的制作方法

技术领域

本发明属于微电子机械系统（MEMS）技术领域，涉及用于微电机、微电磁传感器、执行器中平面电磁线圈的制作方法，具体地说是一种聚合物基底双平面电磁线圈的制作方法。

背景技术

平面电磁线圈是微电子机械系统中各种微电机、微电磁传感器、执行器中的重要组成部分。线圈导体要具有足够的横截面积才能承载一定的电流，在基底表面积有限的条件下绕组线宽就要减小，这样必须增加绕组导线的厚度，即增加它的高（深）宽比。

以往制作大深宽比的线圈大多采用 LIGA 或 UV-LIGA 工艺，LIGA 工艺需使用同步辐射光源和 X 光掩模版，UV-LIGA 工艺是一种采用紫外厚胶光刻取代同步辐射光刻工艺的准 LIGA 技术。上述方法在线圈导线电铸之后，存在光刻胶难以去除的问题；特别是在制作双面线圈时，工艺难度大，重复性差，成品率低。由于硅（Si）或 SiO₂ 基底的表面非常光滑，线圈与基底的接触面积很小，因此采用上述方法制作的线圈还存在着与基底粘附不牢的问题，线圈在电磁力的作用下容易从基底的表面脱落，影响其使用寿命。

鉴于以上技术的缺点，最近有人提出新的方法，利用硅深刻蚀，在硅片表面刻蚀出用于镶嵌线圈金属导线的深沟槽，在沟槽内进行电铸便得到线圈的金属导体结构；这样线圈导体与基底沟槽大部分地接触，被牢固地镶嵌于基底微沟槽内。该方法仍为传统硅微机械工艺，且操作步骤较多，

又由于硅片的脆性，在线圈制作、装配及使用当中，很容易因各种破坏作用而破损。

发明内容

为了解决背景技术中线圈与基底粘附不牢和硅深刻蚀电铸工艺难度大、成品率低的问题，同时降低制造成本、提高使用性能，本发明结合微机械工艺和聚合物复制技术，提供了一种以聚合物为基底双平面电磁线圈的制作方法。

本发明的工艺步骤如下：

1. 利用传统光刻和硅深刻蚀技术，在硅片表面刻蚀出与平面线圈具有相同图形的微沟槽，制作出下一步复制所用的初级模版 6，由于平面线圈为双面图形，所以需要制作一对硅初级模版，具体工艺过程如图 1 所示；

2. 把步骤 1 制作出的一对初级模版各自分别与其它组件组装成模具，如图 2 所示，在其型腔内注入聚二甲基硅氧烷（PDMS）浇铸液，固化聚二甲基硅氧烷浇铸液，分别拆除模具后便得到一对硅橡胶模版 7，如图 3 所示，其表面上具有与初级模版相反的图形凸起 7-2；

3. 把步骤 2 制作出的一对硅橡胶模版与其它组件组装成模具，如图 4 所示，在其型腔内注入环氧树脂浇铸液，固化环氧树脂浇铸液，拆除模具后便得到环氧树脂基底 11-1，即为平面线圈的聚合物基底，其双表面分别具有与两块初级模版相同的微沟槽；

4. 如图 5 所示，在环氧树脂基底沟槽内蒸镀种子层，以此为电极进行电铸，电铸完成后得到线圈的金属导体 11-4，从而完成了双平面线圈 11 的制作。

本发明上述工艺制作出的硅橡胶模版如图 3 所示，基本结构包括硅橡胶基体 7-1 和支撑片 7-4。硅橡胶基体 7-1 表面有复制出来的线圈图形凸起 7-2；硅橡胶基体 7-1 上有用型芯 3 模塑出来的通孔 7-3；支撑片 7-4 嵌铸

在硅橡胶基体 7-1 体内。

本发明上述工艺制作出的平面线圈 11 双侧表面都具有金属导体结构，从而大大增加了线圈的电感系数，环氧树脂基体 11-1 内嵌铸的过渡导线 11-2 起到了连接线圈两面对应导体的作用。

本发明解决了背景技术中线圈与基底粘附不牢和硅深刻蚀电铸工艺难度大、成品率低的问题，同时降低制造成本，提高应用可靠性。本发明提出的以聚合物材料为基底的平面线圈新工艺，为发展标准微机械技术，利用聚合物的优良特性，改良线圈的性能成为可能。其意义在于：

(1) 在传统 MEMS 工艺中，由于硅片的脆性，在线圈制作、装配及使用当中，很容易因各种破坏作用而破损。聚合物材料具有良好的韧性，替代机械性能较差的硅材料。

(2) 硅为半导体材料，以其制作线圈基底需进行氧化绝缘工艺处理，而大多数高聚物都具有优良的电绝缘性能，制作线圈时可直接以其为基底。

(3) 价格便宜，本发明所用环氧树脂（包括大多数其它塑料）与微机械所用的硅片相比可看作不计成本。

(4) 复制技术的应用降低了制造成本，减少了标准微机械制造中的光刻、蚀刻等步骤，并提高了成品率。

附图说明

图 1 是本发明硅初级模版制作工艺流程图。图中，(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h) 表示工艺流程步骤，6 是 (h) 步制作出的硅初级模版。

图 2 是本发明制作硅橡胶模版的浇铸模具组装图。图中，1 是橡胶挡圈，2 是有机玻璃板，3 是铸孔型芯，4 是玻璃板，5 是塑料垫块，6 是硅初级模版，7-4 是支撑片。

图 3 是本发明硅橡胶模版 7 的结构图。图中，7-1 是硅橡胶基体，7-2

是硅橡胶基体 7-1 上复制出的线圈反凸起图形，7-3 是硅橡胶基体 7-1 上的通孔，7-4 是支撑片。

图 4 是本发明制作聚合物基底的浇铸模具组装图。图中，7 是硅橡胶模版，8 是玻璃版，9 是塑料封圈，10 是弹性夹，11-2 是过渡导线。

图 5 是本发明聚合物基底双平面电磁线圈 11 的制作过程图。图 5-1 是用硅橡胶模版 7 复制后得到的结构，11-1 是环氧树脂基体，11-2 是过渡导线；图 5-2 是蒸镀种子层后得到的结构，11-3 是铜种子层；图 5-3 是电铸后得到的结构，11-4 是线圈的金属导体；

具体实施方式

为制得聚合物基底双面线圈，采用硅初级模版——PDMS 硅橡胶模版——环氧树脂基底的二次复制路线，最后通过电铸而在基底沟槽内制作出铜导体。

双平面电磁线圈分布在聚合物基底两面，因此要制作出有上下两面图形的硅初级模版和硅橡胶模版各一对。

先采用普通紫外光刻和深刻蚀技术在硅基底上制作出有线圈图形的深沟槽；以此作为初级模版与配合件组装成模具，用来模塑成型 PDMS 硅橡胶模版，其上带有线圈反凸起图形和过渡导线定位通孔；把一对过渡模版及其配合件组合成模具，用来模塑成型环氧树脂基底，其体内预制出连通两面对应图形的导线；采用微电铸技术在基底沟槽内沉积铜，便制作出聚合物基底的双面电磁线圈。

主要结构材料选择：初级模版基底采用单晶硅材料；硅橡胶模版基体用聚二甲基硅氧烷（PDMS）有机硅弹性体，其内嵌铸的支撑片为弹性刚片；聚合物线圈基底用液态环氧树脂模塑成型，其内嵌铸的过渡导线为铜线，基底沟槽内的种子层和电铸生成的材料均为铜。

具体工艺过程

(1) 本发明提出的硅初级模版制作工艺过程如图 1 所示。

(a) 取表面抛光并有 SiO₂ 氧化层的硅片，作为初级模版的基片。

(b) 在基片表面均匀旋涂光刻胶。

(c) 光刻，把预先制作的掩模上的图形转移到光刻胶层上；显影后去除曝光部分的光刻胶。

(d) 用氢氟酸腐蚀液去掉光胶窗口部分的 SiO₂，用丙酮清洗掉光刻胶保护层，得到 SiO₂ 掩模图形。

(e) 在 SiO₂ 掩模表面覆盖光刻胶。

(f) 光刻、显影后显露出来的是小圆孔形的硅表面，其位置是所有线圈终端需要双面连接处。

(g) 用该光刻胶作掩模，在感应耦合等离子（ICP）刻蚀机中做干法深刻蚀，得到一定深度的小圆坑，浇铸制作硅橡胶模版时要用铸芯的方法制作连线通孔，其铸孔型芯即要在此圆坑中定位。

(h) 去除掩模光刻胶后继续做干法深刻蚀，用 (d) 步骤制作出的 SiO₂ 作掩模，得到线圈图形的凹槽。

这样，用微机械技术制作的硅初级模版 6 就制作完成，为使其在使用过程中不被破坏，把初级模版粘到玻璃板 4 上，这样便可用于制作硅橡胶模版。

(2) 将上述制作出的初级模版 6 与橡胶挡圈 1、有机玻璃板 2、塑料垫块 5、铸孔型芯 3 组装成模具如图 2 所示，把 PDMS 混合液浇注入模具型腔，固化成型后，取下橡胶挡圈 1 和有机玻璃板 2，把铸件从硅初级模版 6 上剥离，抽出铸孔型芯 3 后便在硅橡胶板体上留下通孔 7-3，而支撑片 7-4 则留在硅橡胶基体内，硅橡胶模版的厚度由塑料垫块 5 的高度决定。

制得的硅橡胶模版结构如图 3 所示，7-2 为下一步复制所用的凸起图形，线圈图形终点处有通孔 7-3 用来定位和放置线圈基底的过渡导线 11-2，

7-4 为环形的支撑片，其作用是加强和支撑硅橡胶弹性体，支撑片上开设出圆周分布的孔，使硅橡胶弹性体牢牢抓住钢片，增大结合力。

(3) 把上述制得的硅橡胶模版 7 与平玻璃板 8、塑料封圈 9、弹性夹 10 组装成模具如图 4 所示。两硅橡胶模版按图形对准，之间夹上开有浇口的塑料封圈 9，塑料封圈 9 的厚度即决定了浇铸出的聚合物线圈基底的厚度，在两模版对准的穿销通孔 7-3 中插入铜过渡导线 11-2，最后两面贴上平玻璃板 8，再用弹性夹 10 夹紧，这样就形成了用于浇注环氧树脂的薄层型腔。把环氧树脂和固化剂充分搅拌使之混合均匀，混合液放入真空中排除气泡，然后从浇口注入组合模具中，固化成型，脱模后即得到双侧表面附有微沟槽的线圈基底。

(4) 上述方法制得的有沟槽聚合物基底如图 5-1 所示，其内有连通双面的过渡导线 11-2；采用热蒸发的方法在聚合物基底（11-1）的沟槽内沉积铜种子层 11-3，得到如图 5-2 所示的结构；在硫酸铜溶液中电铸生成金属导体 11-4，最终得到如图 5-3 所示的双面线圈。

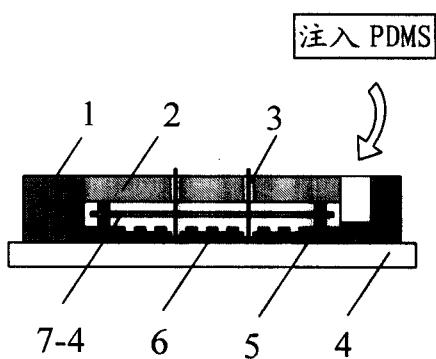
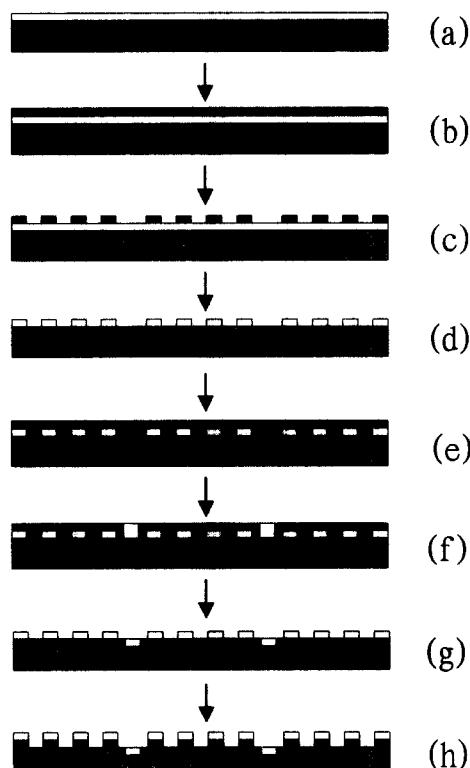


图2

图 1

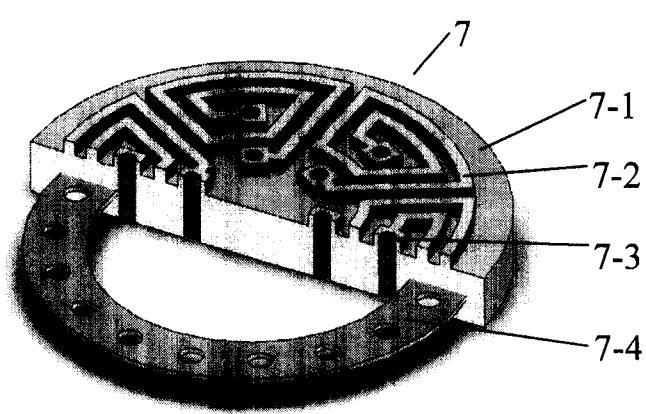


图 3

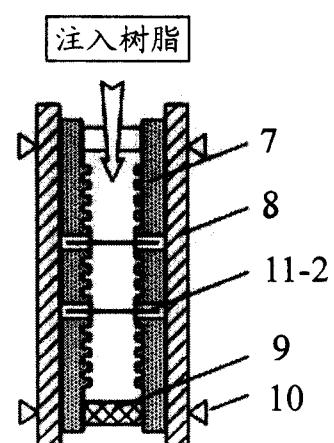


图4

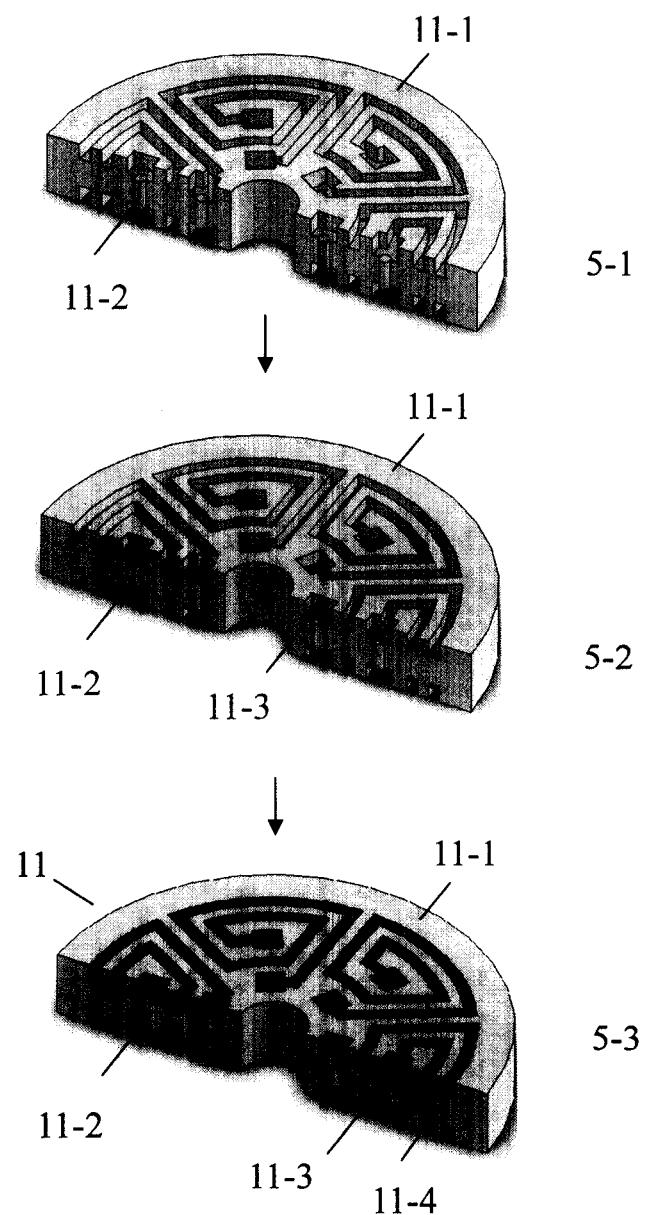


图 5