



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103440985 B

(45) 授权公告日 2016. 08. 10

(21) 申请号 201310323560. 6

审查员 滕牧

(22) 申请日 2013. 07. 30

(73) 专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区 100084 信箱 82  
分箱清华大学专利办公室

(72) 发明人 刘泽文 赵晨旭 李玲

(74) 专利代理机构 西安智大知识产权代理事务  
所 61215

代理人 贾玉健

(51) Int. Cl.

H01G 5/18(2006. 01)

B81C 1/00(2006. 01)

(56) 对比文件

TW 200832770 A, 2008. 08. 01,

CN 102194572 A, 2011. 09. 21,

CN 102074352 A, 2011. 05. 25,

CN 1706066 A, 2005. 12. 07,

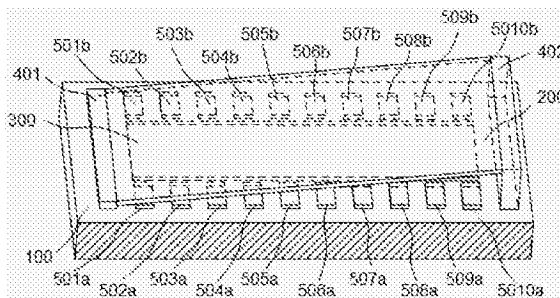
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种多电极线性可调节的 MEMS 电容器

(57) 摘要

一种多电极线性可调节的 MEMS 电容器, 包括介质衬底、电容上极板、电容下极板、第一锚点、第二锚点以及多组控制电极, 电容下极板位于第一锚点和第二锚点间, 电容上极板位于第一锚点和第二锚点上, 第一锚点和第二锚点的高度不同, 电容上极板呈倾斜状态, 沿电容上极板倾斜下端向上端方向, 对多组控制电极逐次加电压, 每组控制电极上的电压均由低到高变化, 使电容上极板与电容下极板之间的电容值呈近似线性的变化。



1. 一种多电极线性可调节的MEMS电容器,包括:

介质衬底(100);

设置于介质衬底(100)上的电容下极板(300)、第一锚点(401)、第二锚点(402)和多组控制电极,电容下极板(300)位于第一锚点(401)和第二锚点(402)之间,每组控制电极由对称分布于电容下极板(300)两侧的结构相同的a部分和b部分组成,a部分和b部分之间电气连接;

以及,

位于第一锚点(401)和第二锚点(402)上的电容上极板(200);

其中:

所述第一锚点(401)和第二锚点(402)的高度不同,电容上极板(200)呈倾斜状态,沿电容上极板(200)倾斜下端向上端方向,对多组控制电极逐次加电压,每组控制电极上的电压均由低到高变化,使电容上极板(200)与电容下极板(300)之间的电容值呈近似线性的变化;或者,

所述第一锚点(401)和第二锚点(402)的高度相同,电容上极板(200)呈水平状态,沿电容上极板(200)中间向两端方向,对多组控制电极逐次加电压,每组控制电极上的电压均由低到高变化,使电容上极板(200)与电容下极板(300)之间的电容值呈近似线性的变化。

2. 如权利要求1所述的多电极线性可调节的MEMS电容器,其特征在于,相邻组的控制电极之间间距相等或者不相等。

3. 如权利要求1所述的多电极线性可调节的MEMS电容器,其特征在于,所述控制电极为N组,N为正整数,控制电极上覆盖一层介质层,以实现与电容上极板(200)之间的电隔离。

4. 如权利要求3所述的多电极线性可调节的MEMS电容器,其特征在于,所述N为10。

5. 如权利要求1所述的多电极线性可调节的MEMS电容器,其特征在于,所述电容下极板(300)设置于电容上极板(200)的正下方中间位置,比电容上极板(200)小,电容下极板(300)上覆盖一层介质层,以实现与电容上极板(200)之间的电隔离。

6. 如权利要求1所述的多电极线性可调节的MEMS电容器,其特征在于,位于电容下极板(300)的中心部位有一组控制电极,其余各组控制电极沿该中心部位的控制电极对称,且相对称的两组控制电极之间电气连接。

## 一种多电极线性可调节的MEMS电容器

### 技术领域

[0001] 本发明属于射频微机电系统(RF MEMS)领域,具体涉及一种电容值线性可调节的MEMS电容器。

### 背景技术

[0002] 射频微机电系统(RF MEMS)是用微加工工艺制作的,集微结构、微传感器、微执行器、信号处理和控制电路为一体的射频器件或系统,与传统固态器件相比,拥有显著的优势,例如功率耗散低、插入损耗小、可靠性高、品质因数高等。基于MEMS的开关和电容是射频应用中极为重要的元件,他们的机械结构能够对控制电路和信号电路进行隔离,并且防止射频信号对电容值产生调制作用,因此线性度很高。

[0003] 电容元件广泛的应用于基于MEMS的器件中,例如可调滤波器、谐振器、传感器、可调天线等。常见的MEMS可调电容有两种基本形式,一种是调节上下电容极板间的间距来改变电容值,这种可调电容反应灵敏、Q值高、尺寸小,然而却有间距调节范围的限制,其上极板运动范围不能大于上下极板初始间距的三分之一,否则电容上极板会被迅速下拉,因此可调范围较小;另一种是调节电容的正对面积来改变电容值,典型的是应用插指状结构,通过改变指间正对面积来改变电容值,这种结构制作工艺复杂,电容值有限,电容的控制精度差。

### 发明内容

[0004] 为了解决上述问题,本发明提出了一种电容值线性可调节的MEMS电容器,具有线性度高、变容范围大、可编程调节的特点。

[0005] 为实现上述目的,本发明采取如下技术方案:

[0006] 一种多电极线性可调节的MEMS电容器,包括:

[0007] 介质衬底100;

[0008] 设置于介质衬底100上的电容下极板300、第一锚点401、第二锚点402和多组控制电极,电容下极板300位于第一锚点401和第二锚点402之间,且相互分离,每组控制电极由对称分布于电容下极板300两侧的结构相同的a部分和b部分组成,a部分和b部分之间电气连接;

[0009] 以及,

[0010] 位于第一锚点401和第二锚点402上的电容上极板200。

[0011] 所述第一锚点401和第二锚点402的高度不同,电容上极板200呈倾斜状态,沿电容上极板200倾斜下端向上端方向,对多组控制电极逐次加电压,每组控制电极上的电压均由低到高变化,使电容上极板200与电容下极板300之间的电容值呈近似线性的变化。在控制电极上施加控制电压时,电容上极板200在静电力作用下向电容下极板方向移动。

[0012] 所述相邻组的控制电极之间间距相等或者不相等。

[0013] 所述控制电极为N组,N为正整数,控制电极上覆盖一层介质层,以实现与电容上极

板200之间的电隔离。例如,所述N为10。

[0014] 所述电容下极板300设置于电容上极板200的正下方中间位置,比电容上极板200小,电容下极板300上覆盖一层介质层,以实现与电容上极板200之间的电隔离。

[0015] 所述第一锚点401和第二锚点402的高度相同,电容上极板200呈水平状态,沿电容上极板200中间向两端方向,对多组控制电极逐次加电压,每组控制电极上的电压均由低到高变化,使电容上极板200与电容下极板300之间的电容值呈近似线性的变化。

[0016] 位于电容下极板300的中心部位有一组控制电极,其余各组控制电极沿该中心部位的控制电极对称,且相对称的两组控制电极之间电气连接。

[0017] 本发明的优点是:电容上极板200呈倾斜状态,在控制电极上逐次加由小变大的电压时,电容上极板200由底端向高端逐渐下拉,可保证每一驱动电极在驱动时电容上极板200与驱动电极之间的初始间距均较小,以此保证每个控制电极上的下拉电压均处于一个较小的水平,减小了电荷注入发生的可能性,提高了器件可靠性,并且使电容器在将达到最大电容值时仍保持较好的线性度,扩大了可变电容的线性范围和变容比。

## 附图说明

[0018] 图1为本发明的三维结构图。

[0019] 图2为本发明的侧视图。

[0020] 图3为本发明部分电极上施加下拉电压后的侧视图。

[0021] 图4为本发明的工艺流程图。

[0022] 图5为本发明结构的一个变形结构的三维结构图。

## 具体实施方式

[0023] 下面结合附图对本发明的结构原理和工作原理作进一步详细说明。

[0024] 参见图1和图2,其结构主要包括介质衬底100、电容上极板200、电容下极板300、第一锚点401、第二锚点402、第一控制电极501、第二控制电极502、第三控制电极503、第四控制电极504、第五控制电极505、第六控制电极506、第七控制电极507、第八控制电极508、第九控制电极509和第十控制电极5010,每组控制电极由对称分布于电容下极板300两侧的结构相同的a部分和b部分组成,a部分和b部分之间电气连接。即,第一控制电极501由第一控制电极a部分501a和第一控制电极b部分501b组成,第二控制电极502由第二控制电极a部分502a和第二控制电极b部分502b组成,第三控制电极503由第三控制电极a部分503a和第三控制电极b部分503b组成,第四控制电极504由第四控制电极a部分504a和第四控制电极b部分504b组成,第五控制电极505由第五控制电极a部分505a和第五控制电极b部分505b组成,第六控制电极506由第六控制电极a部分506a和第六控制电极b部分506b组成,第七控制电极507由第七控制电极a部分507a和第七控制电极b部分507b组成,第八控制电极508由第八控制电极a部分508a和第八控制电极b部分508b组成,第九控制电极509由第九控制电极a部分509a和第九控制电极b部分509b组成,第十控制电极5010由第十控制电极a部分5010a和第十控制电极b部分5010b组成。

[0025] 电容下极板300、第一锚点401、第二锚点402、第一控制电极501至第十控制电极5010都设置在介质衬底100上,第一锚点401的高度低于第二锚点402,电容上极板200设置

在第一锚点401和第二锚点402上,呈倾斜状态,由第一控制电极501向第十控制电极5010逐次加电压,每组控制电极上的电压均由低到高变化,可使电容上极板200与电容下极板300之间的电容值呈近似线性的变化。假设在第一控制电极501上施加电压 $V_{pu11-in}$ 时,电容上极板200左端会发生下拉,则向第一控制电极501上施加从0到 $V_{pu11-in}$ 逐渐上升的电压,使电容上电极200的最左端逐渐下拉,第一控制电极501上维持  $V_{pu11-in}$ 的电压不变,在第2控制电极502上施加从0到 $V_{pu11-in}$ 逐渐上升的电压,最后维持在 $V_{pu11-in}$ 不变,以此类推,从第一控制电极501向第十控制电极5010方向逐次加由0到 $V_{pu11-in}$ 变化的电压,每个控制电极上的电压达到 $V_{pu11-in}$ 后均维持在 $V_{pu11-in}$ 不变,这样分阶段的控制电容上极板200的下拉,实现了对电容值线性可调的控制,并且由于最大电容值可用,因此线性变容的范围得到扩大。

[0026] 参见图3,其结构为在部分控制电极上施加下拉电压后的侧视图,第一控制电极501、第二控制电极502、第三控制电极503上的电压均维持在 $V_{pu11-in}$ ,电容上电极200的左半部分已经发生下拉,可继续在后续控制电极上逐个施加从0到 $V_{pu11-in}$ 变化的电压。

[0027] 参见图4,为本发明的工艺流程图,首先制作电容下极板300及各控制电极,可用Al等金属作为电极材料;接着制作牺牲层并刻蚀出锚点通孔;使用数字曝光技术并显影,使牺牲层形成斜坡状;溅射或电镀形成电容上极板200,可用Al、Au等金属作为上极板材料;刻蚀牺牲层,释放器件结构。

[0028] 作为本发明结构的一个变形和改进,第一锚点401和第二锚点402的高度相同,电容上极板200呈水平状态,沿电容上极板200中间向两端方向,对多组控制电极逐次加电压,每组控制电极上的电压均由低到高变化,使电容上极板200与电容下极板300之间的电容值呈近似线性的变化。位于电容下极板300的中心部位有一组控制电极,其余各组控制电极沿该中心部位的控制电极对称,且相对称的两组控制电极之间电气连接。

[0029] 该结构的详细结构可参见图5,具体可包括结构二衬底110,结构二电容上极板210,结构二电容下极板310,结构二第一锚点411,结构二第二锚点412和八组结构二控制电极。

[0030] 其中,第一组结构二控制电极为中间控制电极,位于结构二电容下极板310的中间位置,由电气互连的结构二第一控制电极a部分511a和结构二第一控制电极b部分511b组成;第二组结构二控制电极由电气互连的结构二第二控制电极a部分512a、结构二第二控制电极b部分512b、结构二第二控制电极c部分512c和结构二第二控制电极d部分512d组成,结构二第二控制电极a部分512a和结构二第二控制电极b部分512b位于中间控制电极的一侧,结构二第二控制电极c部分512c和结构二第二控制电极d部分512d位于中间控制电极的另一侧;第三组结构二控制电极由电气互连的结构二第三控制电极a部分513a、结构二第三控制电极b部分513b、结构二第三控制电极c部分513c和结构二第三控制电极d部分513d组成,结构二第三控制电极a部分513a和结构二第三控制电极b部分513b位于中间控制电极的一侧,结构二第三控制电极c部分513c和结构二第三控制电极d部分513d位于中间控制电极的另一侧;依次地,第四组结构二控制电极由电气互连的结构二第四控制电极a部分514a、结构二第四控制电极b部分514b、结构二第四控制电极c部分514c和结构二第四控制电极d部分514d组成;第五组结构二控制电极由电气互连的结构二第五控制电极a部分515a、结构二第五控制电极b部分515b、结构二第五控制电极c部分515c和结构二第五控制电极d部分515d组成;第六组结构二控制电极由电气互连的结构二第六控制电极a部分516a、结构二第

六控制电极b部分516b、结构二第六控制电极c部分516c和结构二第六控制电极d部分516d组成；第七组结构二控制电极由电气互连的结构二第七控制电极a部分517a、结构二第七控制电极b部分517b、结构二第七控制电极c部分517c和结构二第七控制电极d部分517d组成；第八组结构二控制电极由电气互连的结构二第八控制电极a部分518a、结构二第八控制电极b部分518b、结构二第八控制电极c部分518c和结构二第八控制电极d部分518d组成。

[0031] 本结构中，结构二电容上极板210由于自身应力作用或其他外力作用在中间位置发生下塌，使结构呈现出对称的两个部分，每一部分与上述多电极线性可调节的MEMS电容器结构相同，结构二第一控制电极a部分511a和结构二第一控制电极b部分511b上被施以同样的控制电压，其他控制电极均包括a、b、c、d四个部分，四部分在电气上相连接，被施以同样的控制电压，从中间控制电极向两边控制电极逐个施加从0到 $V_{pu11-in}$ 变化的电压，可使该结构电容器电容值实现线性可调节，该结构制作工艺较简单，不使用数字曝光技术，可先制作与结构二电容下极板310平行的结构二电容上极板210，利用其自身应力作用或其他外力作用实现在中间部位的下塌。

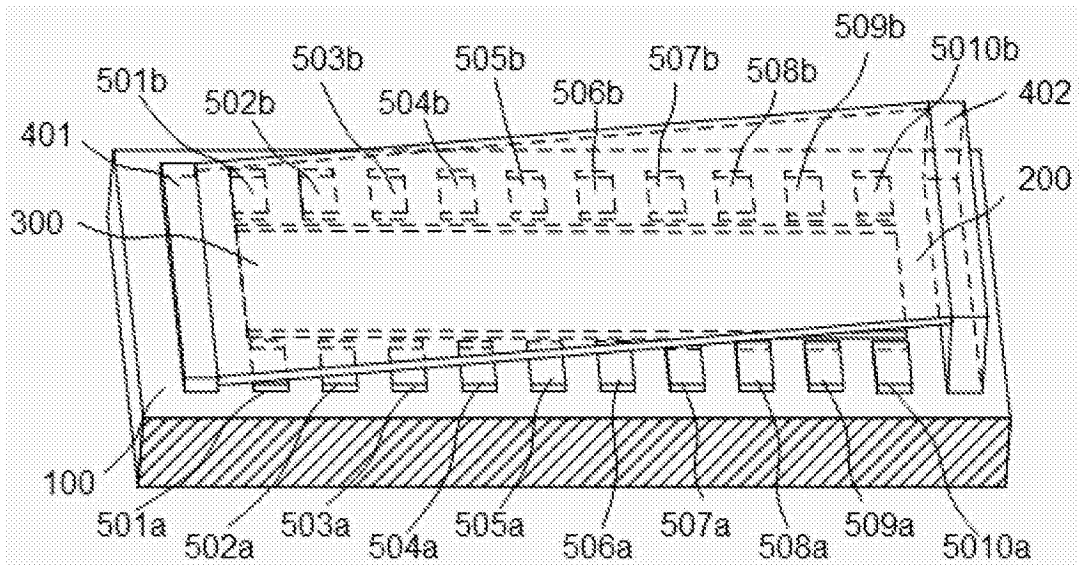


图1

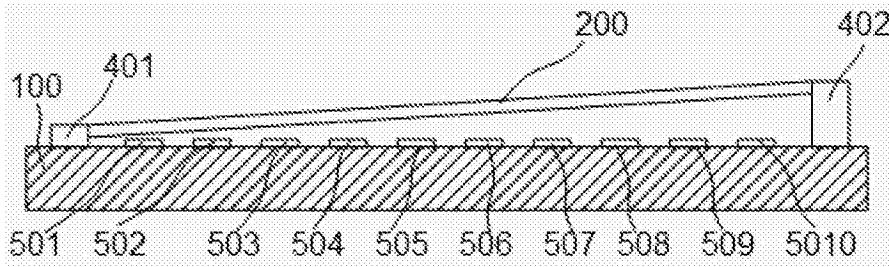


图2

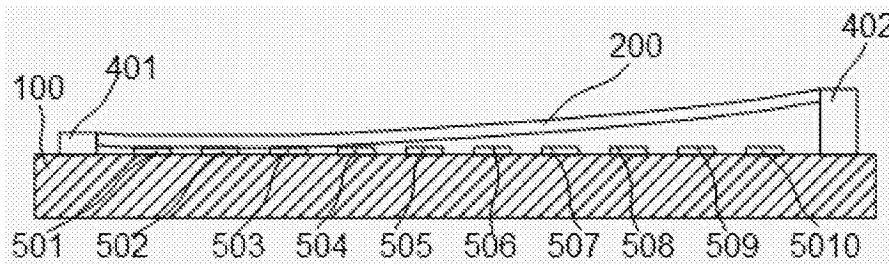
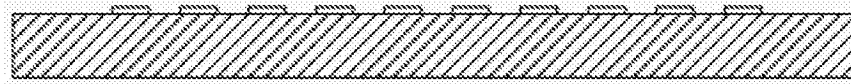
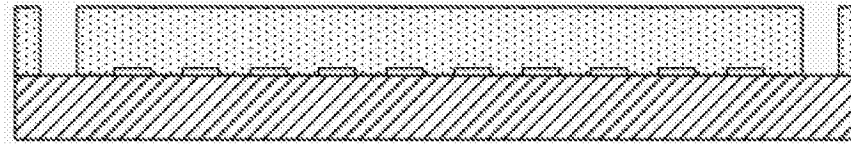


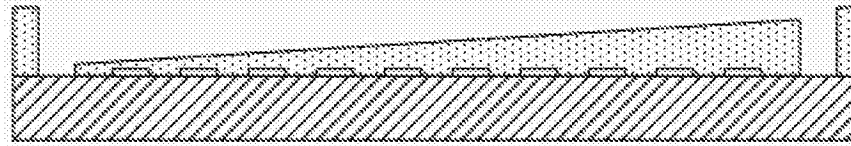
图3



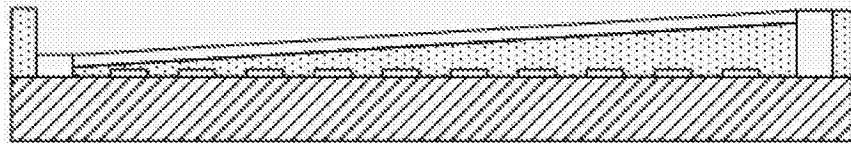
(a)



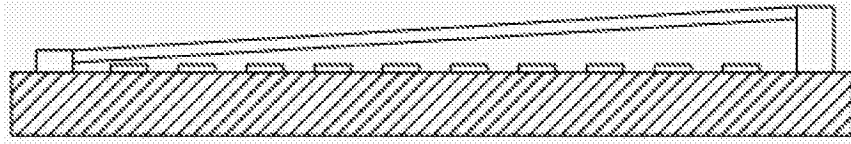
(b)



(c)



(d)



(e)

图4

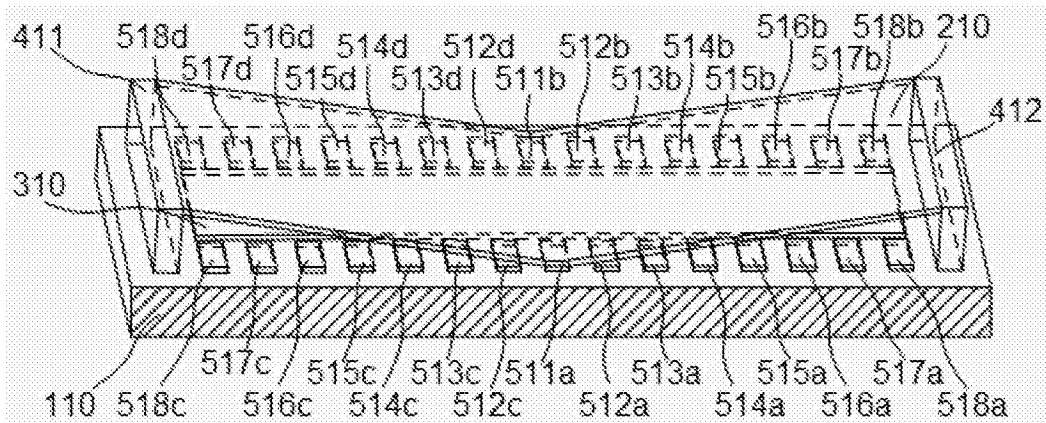


图5