



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104935257 B

(45)授权公告日 2017.09.29

(21)申请号 201510386965.3

(22)申请日 2015.07.03

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104935257 A

(43)申请公布日 2015.09.23

(66)本国优先权数据  
201510379595.0 2015.07.01 CN

(73)专利权人 东南大学  
地址 211189 江苏省南京市江宁区东南大  
学路2号

(72)发明人 廖小平 韩居正

(74)专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所  
(普通合伙) 32249

代理人 杨晓玲

(51)Int. Cl.  
H03B 19/14(2006.01)

(56)对比文件  
CN 102735934 A, 2012.10.17,  
CN 102735933 A, 2012.10.17,  
WO 2014169242 A1, 2014.10.16,

(54)发明名称

硅基低漏电流双固支梁可动栅倍频器

(57)摘要

本发明的硅基低漏电流双固支梁可动栅MOSFET倍频器,由硅衬底,N型增强型MOSFET,以及外接的低通滤波器,压控振荡器,除法器、高频扼流圈构成。MOSFET的栅极是两个悬浮在栅氧化层上的固支梁,下拉电压设计为MOSFET的阈值电压,由直流偏置控制。参考信号和反馈信号加载在两个固支梁可动栅上。两个固支梁可动栅均悬浮不与栅氧化层接触时,MOSFET截止,能减小栅极漏电流。两个固支梁可动栅均下拉与栅氧化层接触时,MOSFET导通,参考信号和反馈信号输入到MOSFET实现相乘,通过外接电路最终输出参考频率的倍频信号。另外,单个固支梁可动栅下拉

CN 104935334 A, 2015.09.23,

Zhiqiang zhang et al.A Directional  
Inline-Type Millimeter-Wave MEMS Power  
Sensor for GaAs MMIC Applicaitons.  
《Journal of Microelectromechanical  
Systems》.2015,第2卷第253-255页.

Juzheng Han et al.Third-order  
Intermodulation of an MEMS Clamped-  
Clamped Beam Capacitive Power Sensor  
Based on GaAs Technology.《IEEE Sensor  
Journal》.2015,第15卷(第7期),第3645-3646  
页.

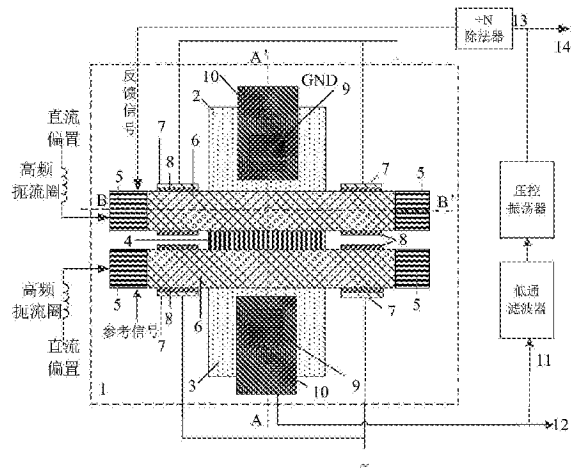
Zhaqiang Zhang et al.Suspended  
Thermopile for Microwave Power Sensor  
Based on Buik MEMS and GaAs MMIC  
Technology.《IEEE SENSOR JOURNAL》.2015,第  
15卷(第4期),第2019-2020页.

廖小平.0.18um射频SOI LDMOS功率器件的  
研究.《微电子学》.2006,第36卷(第1期),第30-  
32页.

审查员 李思彤

权利要求书1页 说明书5页 附图2页

后,可实现对单个选通信号的放大,使电路具有  
多功能。本发明降低漏电流,体积更小,且实现多  
功能。



CN 104935257 B

1. 一种硅基低漏电流双固支梁可动栅倍频器,其特征在于该倍频器的MOSFET为生长在硅衬底(1)上的N型增强型MOSFET,包括源极(2),漏极(3),栅氧化层(4),锚区(5),悬臂梁可动栅(6),下拉极板(7),绝缘层(8),通孔(9),引线(10),源极(2)接地;

MOSFET的栅极是悬浮在栅氧化层(4)之上的两个固支梁可动栅(6),锚区(5)设置在栅氧化层(4)两侧,固支梁可动栅(6)固定在锚区(5)上,固支梁可动栅(6)的中间悬浮在栅氧化层(4)之上,位于硅衬底(1)上的下拉极板(7)位于锚区(5)与栅氧化层(4)之间,下拉极板(7)接地,绝缘层(8)覆盖在下拉极板(7)之上,直流偏置通过高频扼流圈和锚区(5)作用在固支梁可动栅(6)上,固支梁可动栅(6)的下拉电压设计为MOSFET的阈值电压;引线(10)通过通孔(9)分别接源极(2),漏极(3);

漏极(3)输出有两种不同的工作方式,一种是经第一端口(11)输入低通滤波器,低通滤波器输出接入压控振荡器,压控振荡器输出通过第三端口(13)接入除法器,除法器的输出作为反馈信号通过锚区(5)加载至一个固支梁可动栅(6)上,参考信号通过锚区(5)加载到另一个固支梁可动栅(6)上,漏极(3)输出的另一种工作方式是经第二端口(12)直接输出放大信号;

当直流偏置小于下拉电压,两个固支梁可动栅(6)均不下拉处于悬浮状态,不与栅氧化层(4)接触时,MOSFET截止,栅电容相对于传统的MOSFET电容较小,能够有效的减小漏电流,降低功耗。

2. 根据权利要求1所述的一种硅基低漏电流双固支梁可动栅倍频器,其特征在于该倍频器的固支梁可动栅(6)的下拉或悬浮通过直流偏置控制,当两个固支梁可动栅(6)均在达到或大于下拉电压的直流偏置下实现下拉,与栅氧化层(4)接触时,MOSFET导通,参考信号和反馈信号通过MOSFET实现相乘,漏极(3)输出包含两信号的相位差信息,选择第一端口(11)输入低通滤波器,低通滤波器滤除高频部分,输出包含相位差信息的直流电压,直流电压输入压控振荡器,作为控制电压调节压控振荡器的输出频率,调节频率后的信号经第三端口(13)传输至除法器,除法器输出信号作为反馈信号加载到固支梁可动栅(6)上,环路循环反馈的结果是反馈信号与参考信号的频率相等,压控振荡器第四端口(14)输出频率 $f_0$ 为参考信号频率的N倍: $N \times f_{ref}$ ,实现参考信号的倍频;

当只有一个固支梁可动栅(6)下拉,另一个固支梁可动栅(6)处于悬浮状态时,下拉的固支梁可动栅(6)下方形成沟道,未被下拉的固支梁可动栅(6)下方形成高阻区,沟道与高阻区串联的结构有利于提高MOSFET的反向击穿电压,只有被下拉的固支梁可动栅(6)上的选通信号可以通过MOSFET放大,放大信号选择端口(12)输出,当只有加载参考信号的固支梁可动栅(6)下拉时,参考信号通过MOSFET放大,第二端口(12)输出参考信号频率 $f_{ref}$ 的放大信号,当只有加载反馈信号的固支梁可动栅(6)下拉时,反馈信号通过MOSFET放大,反馈信号频率为压控振荡器输出频率 $f_0$ 。经除法器后除以N的结果: $f_0/N$ ,第二端口(12)输出频率为 $f_0/N$ 的放大信号。

## 硅基低漏电流双固支梁可动栅倍频器

### 技术领域

[0001] 本发明提出了硅基低漏电流双固支梁可动栅MOSFET(金属氧化物半导体场效应晶体管)倍频器,属于微电子机械系统的技术领域。

### 背景技术

[0002] 倍频器是将一参考信号的频率经过功能电路的作用,产生参考频率N倍的频率信号。目前,倍频器广泛应用于通信、信号处理等领域。传统倍频器存在结构复杂,尺寸较大的缺点。更重要的是,电路中MOSFET器件栅极漏电流的存在增大了电路的功耗。

[0003] 相比之下,MEMS技术具有体积小、功耗低、价格低廉等优点,另外,MEMS固支梁结构的发展也日益成熟。本发明的目的正是要提出一种硅基低漏电流双固支梁可动栅MOSFET倍频器。

### 发明内容

[0004] 技术问题:传统电路中的MOSFET结构,即便在截止状态也通常会产生一定的栅极漏电流,增加电路功耗。随着微电子技术的发展,栅氧化层厚度随着MOSFET尺寸的缩小进一步变薄,加剧了漏电流的产生。本发明的目的是提供一种硅基低漏电流双固支梁可动栅MOSFET倍频器。使电路降低功耗,结构简单,体积变小。

[0005] 技术方案:本发明的一种硅基低漏电流双固支梁可动栅倍频器的MOSFET为生长在硅衬底上的N型增强型MOSFET,包括源极,漏极,栅氧化层,锚区,悬臂梁可动栅,下拉极板,绝缘层,通孔,引线,源极接地;

[0006] MOSFET的栅极是悬浮在栅氧化层之上的两个固支梁可动栅,锚区设置在栅氧化层两侧,固支梁可动栅固定在锚区上,固支梁可动栅的中间悬浮在栅氧化层之上,位于硅衬底上的下拉极板位于锚区与栅氧化层之间,下拉极板接地,绝缘层覆盖在下拉极板之上,直流偏置通过高频扼流圈和锚区作用在固支梁可动栅上,固支梁可动栅的下拉电压设计为MOSFET的阈值电压;引线通过通孔分别接源极,漏极;

[0007] 漏极输出有两种不同的工作方式,一种是经第一端口输入低通滤波器,低通滤波器输出接入压控振荡器,压控振荡器输出通过第三端口接入除法器,除法器的输出作为反馈信号通过锚区加载至一个固支梁可动栅上,参考信号通过锚区加载到另一个固支梁可动栅上,漏极输出的另一种工作方式是经第二端口直接输出放大信号。

[0008] 该倍频器的固支梁可动栅的下拉或悬浮通过直流偏置控制,当两个固支梁可动栅均在达到或大于下拉电压的直流偏置下实现下拉,与栅氧化层接触时,MOSFET导通,参考信号和反馈信号通过MOSFET实现相乘,漏极输出包含两信号的相位差信息,选择第一端口输入低通滤波器,低通滤波器滤除高频部分,输出包含相位差信息的直流电压,直流电压输入压控振荡器,作为控制电压调节压控振荡器的输出频率,调节频率后的信号经第三端口传输至除法器,除法器输出信号作为反馈信号加载到固支梁可动栅上,环路循环反馈的结果是反馈信号与参考信号的频率相等,压控振荡器第四端口输出频率 $f_0$ 为参考信号频率的N

倍： $N \times f_{\text{ref}}$ ，实现参考信号的倍频；

[0009] 当直流偏置小于下拉电压，两个固支梁可动栅均不下拉处于悬浮状态，不与栅氧化层接触时，MOSFET截止，栅电容较小，能够有效的减小漏电流，降低功耗；

[0010] 当只有一个固支梁可动栅下拉，另一个固支梁可动栅处于悬浮状态时，下拉的固支梁可动栅下方形成沟道，未被下拉的固支梁可动栅下方形成高阻区，沟道与高阻区串联的结构有利于提高MOSFET的反向击穿电压，只有被下拉的固支梁可动栅上的选通信号可以通过MOSFET放大，放大信号选择端口输出，当只有加载参考信号的固支梁可动栅下拉时，参考信号通过MOSFET放大，第二端口输出参考信号频率 $f_{\text{ref}}$ 的放大信号，当只有加载反馈信号的固支梁可动栅下拉时，反馈信号通过MOSFET放大，反馈信号频率为压控振荡器输出频率 $f_0$ 经除法器后除以N的结果： $f_0/N$ ，第二端口输出频率为 $f_0/N$ 的放大信号。

[0011] 有益效果：本发明的硅基低漏电流双固支梁可动栅MOSFET倍频器具有以下显著的优点：

[0012] 1、采用固支梁作为栅极，在MOSFET截止状态实现栅极与栅氧化层的脱离，具有减小电路漏电流，降低功耗的优点；

[0013] 2、下拉单个固支梁可动栅可实现对单个选通信号的放大，使电路多功能化，扩展其应用范围，另一个不被下拉的固支梁可动栅下方形成高阻区，有利于提高MOSFET反向击穿电压；

[0014] 3、采用MEMS技术，使得电路结构简单化，体积小量化。

## 附图说明

[0015] 图1为本发明的硅基低漏电流双固支梁可动栅MOSFET倍频器的俯视图。

[0016] 图2为图1硅基低漏电流双固支梁可动栅MOSFET倍频器的A-A' 向剖面图。

[0017] 图3为图1硅基低漏电流双固支梁可动栅MOSFET倍频器的B-B' 向剖面图。

[0018] 图4为图1硅基固支梁可动栅低漏电流MOSFET两个固支梁可动栅均下拉时的沟道示意图。

[0019] 图5为图1硅基固支梁可动栅低漏电流MOSFET单个固支梁可动栅下拉时的沟道示意图。

[0020] 图中有：硅衬底1，源极2，漏极3，栅氧化层4，锚区5，固支梁可动栅6，下拉电极7，绝缘层8，通孔9，引线10，第一端口11，第二端口12，第三端口13，第四端口14。

## 具体实施方式

[0021] 本发明的硅基低漏电流双固支梁可动栅MOSFET倍频器。包括硅衬底、N型增强型MOSFET，以及外接的低通滤波器、压控振荡器、除法器、高频扼流圈，其中MOSFET生长在硅衬底上，包括源极、漏极、栅氧化层、两个固支梁可动栅，锚区、下拉电极、绝缘层。MOSFET的栅极是横跨悬浮在栅氧化层之上的两个分立的固支梁，栅氧化层连接在源漏之间，锚区设置在栅氧化层两侧，固支梁可动栅通过各自的锚区横跨栅氧化层之上，下拉电极设置在栅氧化层与锚区之间，下拉电极接地，绝缘层覆盖在下拉电极之上。

[0022] 参考信号和反馈信号分别加载在两个固支梁可动栅上，直流偏置通过高频扼流圈和锚区作用在固支梁可动栅上。

[0023] 固支梁可动栅的下拉电压设计为MOSFET的阈值电压。当直流偏置小于下拉电压，两个固支梁可动栅均悬浮在栅氧化层之上时，MOSFET截止，因栅极不与栅氧化层接触，栅电容较小，能够有效的减小栅极漏电流，降低功耗。

[0024] 当两个固支梁可动栅均通过达到或大于下拉电压的直流偏置下拉，与栅氧化层接触时，MOSFET导通，参考信号和反馈信号通过MOSFET相乘。漏极输出信号包含了参考信号和反馈信号之间的相位差信息。低通滤波器将此信号中的高频分量滤除，并向压控振荡器输送一个直流控制电压，调节压控振荡器输出频率。压控振荡器输出信号经过除法器之后，在频率上对应发生1/N的改变，并作为反馈信号，重新输入MOSFET，经过锁相环环路的作用，反馈信号和参考信号达到频率一致的锁定状态。最终压控振荡器输出的信号频率为参考频率的N倍，实现对参考信号的倍频。

[0025] 当只有一个固支梁可动栅被下拉时，该固支梁可动栅下方形成沟道，另一个未被下拉的固支梁可动栅下方为高阻区，沟道和高阻区串联的结构能有效的提高MOSFET的反向击穿电压。只有选择下拉的固支梁可动栅上的选通信号可以通过MOSFET放大输出，从而通过对一个固支梁可动栅的单独控制，实现对单个信号的频率处理，扩大了电路的应用范围。

[0026] MOSFET漏极3输出区分为两种工作方式，一种通过第一端口11接入低通滤波器，低通滤波器输出接入压控振荡器，压控振荡器输出经第三端口13接入除法器，除法器输出作为反馈信号通过锚区5加载到一个固支梁可动栅6上，参考信号通过锚区5加载到另一个固支梁可动栅6上。MOSFET漏极3输出的另一种工作方式是选择第二端口12直接输出放大信号。

[0027] 直流偏置通过高频扼流圈和锚区5作用在固支梁可动栅6上，高频扼流圈起到交直流隔离的作用。固支梁可动栅6的下拉电压设置为MOSFET的阈值电压。当直流偏置小于下拉电压，两个固支梁可动栅6均悬浮不与栅氧化层接触时，MOSFET截止，栅电容相比于传统的MOSFET较小，能够有效的减小漏电流，降低功耗。

[0028] 当直流偏置达到或大于下拉电压，两个固支梁可动栅6均下拉与栅氧化层4接触时，沟道形成，如图4所示，MOSFET导通，参考信号和反馈信号通过MOSFET实现相乘，漏极3输出包含了两信号之间的相位差信息，选择端口11传输到低通滤波器，低通滤波器将此信号中的高频分量滤除，并向压控振荡器输送一个包含相位差信息的直流电压，直流电压可以采用下式来表示：

$$[0029] \quad U_L = K \cos\left(\frac{(f_{ref} - f_{back})}{2\pi} t + \phi\right) \quad (1)$$

[0030] 其中K为MOSFET增益系数， $f_{ref}$ 为参考信号频率， $f_{back}$ 为反馈信号频率， $\phi$ 为固有相位差。压控振荡器在直流电压的控制下，调节输出信号频率的大小。压控振荡器输出频率可以通过以下微分表示式表达：

$$[0031] \quad \frac{1}{2\pi} \frac{df_o}{dt} = K_v U_L = K_v K \cos\left(\frac{(f_{ref} - f_{back})}{2\pi} t + \phi\right) \quad (2)$$

[0032] 其中， $f_o$ 为压控振荡器输出频率， $K_v$ 为压控振荡器灵敏度。经过除法器后，输出频率变为压控振荡器输出频率的1/N，并作为反馈信号，重新输入MOSFET。也就是：

$$[0033] \quad f_{back} = \frac{f_o}{N} \quad (3)$$

[0034] 经过环路的反馈循环作用,反馈信号的频率最终和参考信号一致。即:

$$[0035] \quad \begin{aligned} f_{back} &= \frac{f_o}{N} = f_{ref} \\ \Rightarrow f_o &= N \times f_{ref} \end{aligned} \quad (4)$$

[0036] 所以,最终压控振荡器端口14输出的信号频率为参考频率的N倍,实现参考信号的倍频。

[0037] 只有一个固支梁可动栅6被下拉,另一个固支梁可动栅6处于悬浮状态时,下拉的固支梁可动栅6下方形成沟道,未被下拉的固支梁可动栅6下方为高阻区,如图5所示,沟道与高阻区串联,有利于提高MOSFET反向击穿电压。只有下拉的固支梁可动栅6上的选通信号可以通过MOSFET放大,放大信号选择端口12输出。当只有加载参考信号的固支梁可动栅6下拉时,参考信号通过MOSFET放大,端口12输出参考频率 $f_{ref}$ 的放大信号。当只有加载反馈信号的固支梁可动栅6下拉时,反馈信号频率为压控振荡器频率 $f$ 。经过除法器后的结果,即 $f_o/N$ ,端口12输出频率为 $f_o/N$ 的放大信号。从而通过对一个固支梁可动栅6的单独控制,实现对单个信号的放大,电路具有多功能,扩大了电路的应用范围。

[0038] 本发明的基于固支梁可动栅MOSFET的倍频器的制备方法如下:

[0039] 1) 准备P型Si衬底;

[0040] 2) 底氧生长

[0041] 3) 沉积氮化硅;

[0042] 4) 光刻、刻蚀氮化硅形成MOSFET源极和漏极;

[0043] 5) 场氧化;

[0044] 6) 去除氮化硅和底氧层;

[0045] 7) 进行栅氧化,调节阈值电压,使MOSFET为增强型;

[0046] 8) 沉积多晶硅,并光刻,保留固支梁的锚区位置的多晶硅;

[0047] 9) 电镀蒸发生长Al;

[0048] 10) 涂覆光刻胶,保留下拉电极上方的光刻胶;

[0049] 11) 反刻Al,形成下拉电极;

[0050] 12) 淀积绝缘层,外延生长 $0.1\mu\text{m}$ 的 $\text{Si}_x\text{Ni}_{1-x}$ 绝缘层;

[0051] 13) 光刻窗口,刻蚀掉多余的 $\text{Si}_x\text{Ni}_{1-x}$ ;

[0052] 14) 涂覆光刻胶,保留下拉电极的绝缘层;

[0053] 15) 利用反应离子刻蚀,形成下拉电极上的氮化硅介质层;

[0054] 16) 通过旋涂方式形成PMGI牺牲层,然后光刻牺牲层,仅保留固支梁可动栅下方的牺牲层;

[0055] 17) 电镀蒸发生长Al;

[0056] 18) 涂覆光刻胶,保留固支梁上方的光刻胶;

[0057] 19) 反刻Al,形成固支梁可动栅;

[0058] 20) 涂覆光刻胶,光刻注入孔,注入N+磷离子,形成MOSFET源极和漏极;

[0059] 21) 制作通孔和引线,涂覆光刻胶,去除源漏电极接触区的光刻胶,真空蒸发金铬

镍/金,剥离,合金化形成欧姆接触;

[0060] 22) 释放PMGI牺牲层,形成悬浮的固支梁;

[0061] 23) 将制备的MOSFET与外部电路连接,构成倍频器。

[0062] 区分是否为该结构的标准如下:

[0063] 本发明的硅基低漏电流双固支梁可动栅MOSFET倍频器采用两个固支梁作为MOSFET的栅极,并分别作为参考信号和反馈信号的输入。固支梁可动栅通过直流偏置控制,下拉电压设计为MOSFET的阈值电压,当两个固支梁可动栅没有下拉均悬浮在栅氧化层上时,MOSFET截止,能够减小栅极漏电流,降低功耗。当两个固支梁可动栅均下拉和栅氧化层接触时,参考信号和反馈信号通过MOSFET相乘,漏极输出包含相位差信息,经过低通滤波器,压控振荡器、除法器反馈循环后得到参考信号频率N倍的倍频信号。另外,两个固支梁可动栅可以单独控制,下拉的固支梁可动栅下方形成沟道,另一个不被下拉的固支梁可动栅下方形成高阻区,有利于增大反向击穿电压,并实现对单个选通信号的放大,实现电路的多功能性。

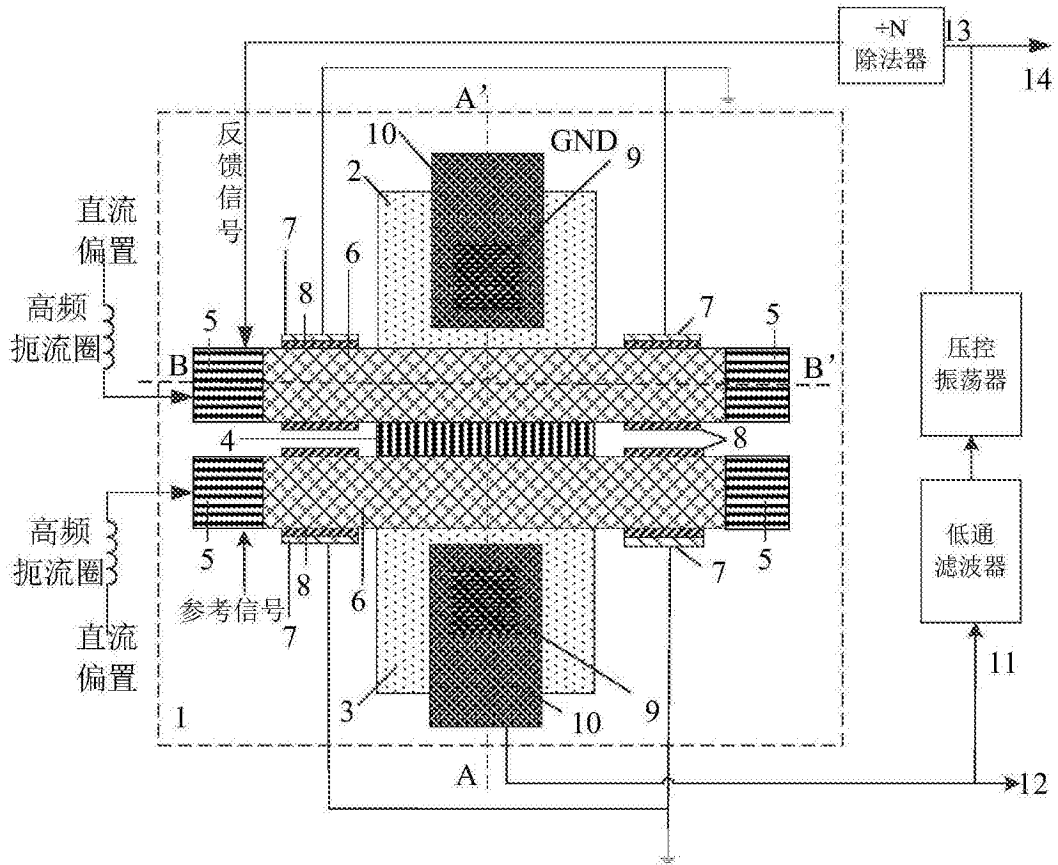


图1

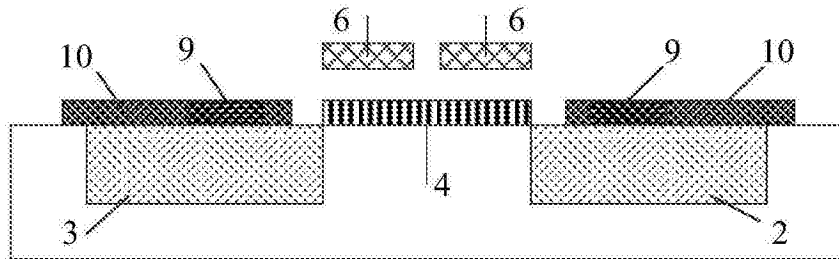


图2

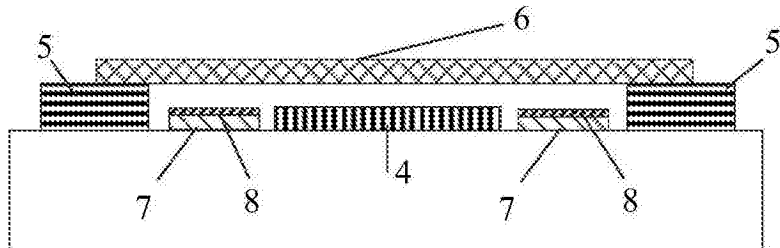


图3



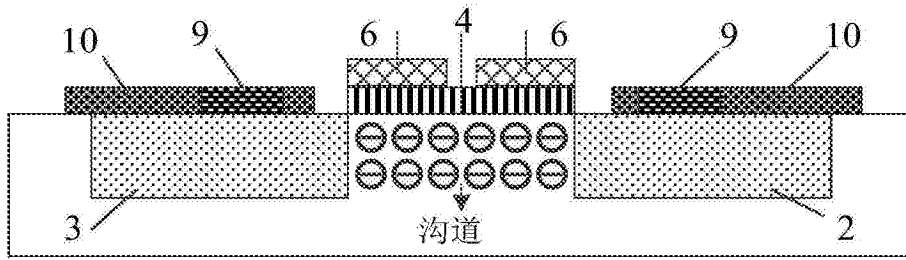


图4

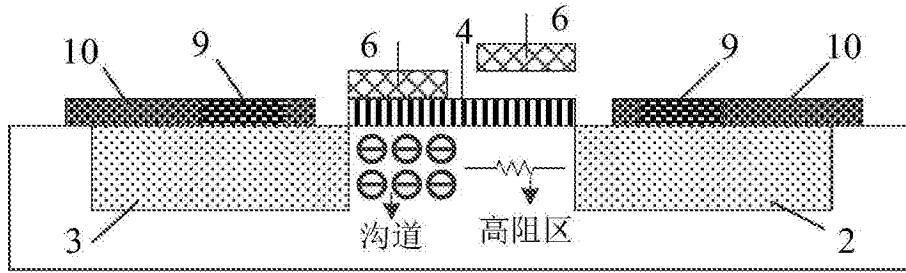


图5