



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104935256 B

(45)授权公告日 2017. 12. 19

(21)申请号 201510379436.0

(22)申请日 2015.07.01

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104935256 A

(43)申请公布日 2015.09.23

(73)专利权人 东南大学

地址 211134 江苏省南京市江宁区汤山街
道鹤龄社区墓地57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

WO 2014169242 A1,2014.10.16,

CN 102735934 A,2012.10.17,

CN 102735933 A,2012.10.17,

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.

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.

审查员 李思彤

权利要求书1页 说明书5页 附图2页

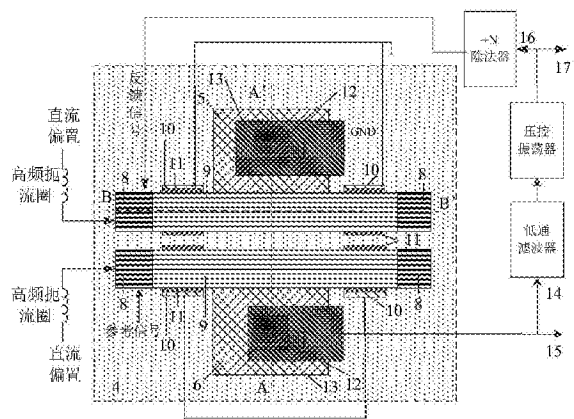
(54)发明名称

砷化镓基低漏电流双固支梁开关双栅倍频器

(57)摘要

本发明的GaAs基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT倍频器,由GaAs衬底,增强型HEMT,外接的低通滤波器,压控振荡器,除法器、高频扼流圈构成。两个固支梁开关悬浮在两个栅极上,作为参考信号和反馈信号的输入,固支梁开关下拉电压设计为HEMT阈值电压,在直流偏置下控制HEMT的导通。两个固支梁开关均断开时,栅电压为0,没有沟道,HEMT截止,有利于减小栅极漏电流。两个固支梁开关均下拉闭合与栅极接触时,二维电子气沟道形成,HEMT导通,参考信号和反馈信号通过HEMT放大,漏极输出经低通滤波器、压控振荡器以及除法器反馈循环后,得到倍频信号。只有一个固支梁开关闭合时,可实现对选通信号的单独

放大,电路具有多功能。



CN 104935256 B

1. 一种砷化镓基低漏电流双固支梁开关双栅倍频器,其特征在于该倍频器的HEMT为生长在GaAs衬底(1)上的增强型HEMT,包括本征GaAs层(2),本征AlGaAs层(3),N+AlGaAs层(4),源极(5),漏极(6),栅极(7),锚区(8),固支梁开关(9),下拉极板(10),绝缘层(11),通孔(12),引线(13);在GaAs衬底(1)上有本征GaAs层(2),本征GaAs层(2)上有本征AlGaAs层(3),本征AlGaAs层(3)上有N+AlGaAs层(4),源极(5),漏极(6)位于两个固支梁开关(9)的两侧,源极(5)接地,两个栅极(7)并列设置,与两个固支梁开关(9)一一对应,固支梁开关(9)的两端固定在锚区(8)上,固支梁开关(9)的中部悬浮在栅极(7)之上,下拉极板(10)设置在锚区(8)和栅极(7)之间,下拉极板(10)接地,绝缘层(11)覆盖在下拉极板(10)之上,直流偏置通过高频扼流圈和锚区(8)作用在固支梁开关(9)上,固支梁开关(9)的下拉电压设计为HEMT的阈值电压;引线(13)分别通过通孔(12)接本征GaAs层(2);

HEMT漏极(6)输出信号有两种不同的工作方式,一种是选择第一端口(14)输入至低通滤波器,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(16)接入除法器,除法器输出信号作为反馈信号通过锚区(8)加载到一个固支梁开关(9)上,构成反馈回路,参考信号通过锚区(8)加载到另一个固支梁开关(9)上,HEMT漏极(6)输出信号的另一种工作方式是选择第二端口(15)直接输出放大信号;

当直流偏置小于下拉电压,两个固支梁开关(9)均不与栅极(7)接触,开关断开时,栅电压为0,HEMT截止,能够有效的减小栅极漏电流,降低功耗。

2. 根据权利要求1所述的砷化镓基低漏电流双固支梁开关双栅倍频器,其特征在于,固支梁开关(9)的闭合或断开通过直流偏置控制,当两个固支梁开关(9)均在达到或大于下拉电压的直流偏置下实现下拉,与栅极(7)接触,开关闭合时,在栅电压的作用下,形成二维电子气沟道,HEMT导通,参考信号和反馈信号通过HEMT实现相乘,漏极(6)输出包含两信号的相位差信息,选择第一端口(14)输入低通滤波器,滤除高频部分,输出包含相位差信息的直流电压,直流电压作为控制电压输入压控振荡器,压控振荡器的输出频率被调节,调节频率后的信号经第三端口(16)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开关(9)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(17)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;

当只有一个固支梁开关(9)闭合,另一个固支梁开关(9)处于断开状态时,闭合的固支梁开关(9)下方形成二维电子气沟道,断开的固支梁开关(9)下方形成高阻区,沟道与高阻区串联的结构有利于提高HEMT的反向击穿电压,只有闭合的固支梁开关(9)上的选通信号可以通过HEMT放大,放大信号经第二端口(15)输出,当只有加载参考信号的固支梁开关(9)闭合时,参考信号通过HEMT放大,第二端口(15)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开关(9)闭合时,反馈信号通过HEMT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(15)输出频率为 f_0/N 的放大信号,断开的固支梁开关(9)也有利于减小栅极漏电流,降低功耗。

砷化镓基低漏电流双固支梁开关双栅倍频器

技术领域

[0001] 本发明提出了GaAs(砷化镓)基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT(高电子迁移率晶体管)倍频器,属于微电子机械系统的技术领域。

背景技术

[0002] 倍频器是频率合成器的一种,它能将一参考信号经过功能电路的作用,产生参考信号频率整数倍的目标频率信号。利用锁相环和除法器可构成倍频器。倍频器已经成为电子技术、空间技术和通信技术中的一个重要的组成部分。然而,与传统倍频器电路中的MOSFET结构相比,高电子迁移率晶体管HEMT显示出更多的优势,比如更高的电子迁移率,速度更快,效率更高,也能够降低功耗等。另外,MEMS梁结构方便可控,也推动着电路向结构简单,体积变小的方向发展。

[0003] 本发明正式要结合HEMT结构与MEMS技术,提出一种GaAs基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT倍频器。

发明内容

[0004] 技术问题:本发明的目的是提供一种GaAs基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT倍频器,两个栅极位于两个固支梁开关正下方,参考信号和参考信号分别加载在两个固支梁开关上,固支梁开关在电路中控制HEMT的导通,通过对两个固支梁开关的控制以及外接电路的作用,实现对参考信号频率的运算,得到目标频率。

[0005] 技术方案:本发明的砷化镓基低漏电流双固支梁开关双栅倍频器的HEMT为生长在GaAs衬底上的增强型HEMT,包括本征GaAs层,本征AlGaAs层,N+AlGaAs层,源极,漏极,栅极,锚区,固支梁开关,下拉极板,绝缘层,通孔,引线;在GaAs衬底上有本征GaAs层,本征GaAs层上有本征AlGaAs层,本征AlGaAs层上有N+AlGaAs层,源极,漏极位于两个固支梁开关的两侧,源极接地,两个栅极并列设置,与两个固支梁开关一一对应,固支梁开关的两端固定在锚区上,固支梁开关的中部悬浮在栅极之上,下拉极板设置在锚区和栅极之间,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开关上,固支梁开关的下拉电压设计为HEMT的阈值电压;引线分别通过通孔接本征GaAs层;

[0006] HEMT漏极输出信号有两种不同的工作方式,一种是选择第一端口输入至低通滤波器,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,除法器输出信号作为反馈信号通过锚区加载到一个固支梁开关上,构成反馈回路,参考信号通过锚区加载到另一个固支梁开关上,HEMT漏极输出信号的另一种工作方式是选择第二端口直接输出放大信号。

[0007] 固支梁开关的闭合或断开通过直流偏置控制,当两个固支梁开关均在达到或大于下拉电压的直流偏置下实现下拉,与栅极接触,开关闭合时,在栅电压的作用下,形成二维电子气沟道,HEMT导通,参考信号和反馈信号通过HEMT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,滤除高频部分,输出包含相位差信息的直流电

压,直流电压作为控制电压输入压控振荡器,压控振荡器的输出频率被调节,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开关上,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: $N \times f_{ref}$,实现参考信号的倍频;

[0008] 当直流偏置小于下拉电压,两个固支梁开关均不与栅极接触,开关断开时,栅电压为0,HEMT截止,能够有效的减小栅极漏电流,降低功耗;

[0009] 当只有一个固支梁开关闭合,另一个固支梁开关处于断开状态时,闭合的固支梁开关下方形成二维电子气沟道,断开的固支梁开关下方形成高阻区,沟道与高阻区串联的结构有利于提高HEMT的反向击穿电压,只有闭合的固支梁开关上的选通信号可以通过HEMT放大,放大信号经第二端口输出,当只有加载参考信号的固支梁开关闭合时,参考信号通过HEMT放大,第二端口输出参考信号频率 f_{ref} 的放大信号,当只有加载反馈信号的固支梁开关闭合时,反馈信号通过HEMT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,断开的固支梁开关也有利于减小栅极漏电流,降低功耗。

[0010] 有益效果:本发明的GaAs基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT倍频器具有以下显著的优点:

[0011] 1、两个固支梁开关在电路中起到开关的作用,方便控制HEMT的导通。

[0012] 2、固支梁开关结构使电路方便可控,通过对单个固支梁开关的控制,实现对单个信号的处理,使电路多功能化,扩展应用范围。

[0013] 3、HEMT与MEMS技术相结合,使得电路效率提升,功耗降低,结构简单化,体积小型化。

附图说明

[0014] 图1为本发明的GaAs基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT倍频器的俯视图。

[0015] 图2为图1GaAs基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT倍频器的A-A'向剖面图。

[0016] 图3为图1GaAs基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT倍频器的B-B'向剖面图。

[0017] 图4为图1GaAs基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT倍频器两个开关均下拉闭合时的沟道示意图。

[0018] 图5为图1GaAs基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT倍频器单个开关下拉闭合时的沟道示意图。

具体实施方式

[0019] 本发明的GaAs基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT倍频器包括GaAs衬底、增强型HEMT,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HEMT生长在GaAs衬底上,从下至上依次为本征GaAs层,本征AlGaAs层,N+AlGaAs层,两个并列的栅极位于N+AlGaAs层之上;另外源极和漏极深入到本征GaAs层。本征GaAs层与本征AlGaAs层形成异质结,栅极与N+AlGaAs形成肖特基接触。两个固支梁开关通过锚区分别悬浮在两个栅极正上方。栅极与锚区之间设置有下拉极板,下拉极板接地,绝缘层覆盖在下拉极板之上。

[0020] 参考信号和反馈信号分别通过锚区加载到两个固支梁开关上。直流偏置通过高频

扼流圈和锚区作用在固支梁开关上。高频扼流圈保证直流偏置和交流信号隔开。

[0021] 固支梁开关的下拉电压设计为HEMT的阈值电压。当直流偏置小于下拉电压,两个固支梁开关均处于悬浮断开,不与栅极接触时,栅极电压为0,对于增强型HEMT,肖特基势垒深入到本征GaAs层,本征GaAs层与本征AlGaAs层异质结边界的二维电子气被耗尽,所以HEMT无法导通。

[0022] 当直流偏置达到或者大于下拉电压,两个固支梁开关均下拉闭合与栅极接触时,栅电压即为直流偏置的大小,此时肖特基势垒变窄,二维电子气浓度增加,HEMT导通,参考信号和反馈信号通过HEMT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电压,调节压控振荡器的输出信号的频率。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HEMT,经过环路的作用,反馈信号和参考信号达到锁定,即压控振荡器输出频率除以N后的频率和参考信号频率相等。所以,最终压控振荡器输出的信号频率为参考信号频率的N倍,实现倍频。

[0023] 当只有一个固支梁开关闭合与对应的栅极接触时,闭合的固支梁开关下方形成二维电子气沟道,另一个断开的固支梁下方为高阻区,沟道与高阻区串联的结构能够有效的提高器件的反向击穿电压。只有对应固支梁开关上的选通信号可以通过HEMT放大输出。从而通过对一个固支梁开关的单独控制,实现对单个信号的放大,扩大了电路的应用范围。

[0024] 下面结合附图对本发明的GaAs基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT倍频器做进一步解释。

[0025] 如图1所示,本发明的GaAs基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT倍频器包括GaAs衬底1,设置在GaAs衬底上的增强型HEMT,外接的低通滤波器,压控振荡器,除法器、高频扼流圈。

[0026] HEMT包括本征GaAs层2,本征AlGaAs层3,N+AlGaAs层4,源极5,漏极6,两个栅极7,锚区8,两个固支梁开关9,下拉极板10,绝缘层11,通孔12,引线13。其中,源极5接地,固支梁开关9通过锚区8悬浮在栅极7上方,两个栅极7与两个固支梁开关9一一对应,下拉极板10设置在固支梁开关9下方,下拉极板10接地。在HEMT结构内部,栅极7与N+AlGaAs层4形成肖特基接触,本征AlGaAs层3与本征GaAs层2形成异质结。对于增强型HEMT,栅电压为0时,异质结界面的二维电子气沟道被肖特基接触耗尽。

[0027] HEMT漏极6输出信号可以选择两种工作方式,一种是选择第一端口14接入低通滤波器,低通滤波器输出接入压控振荡器,压控振荡器输出通过第三端口16接入除法器,除法器的输出信号作为反馈信号通过锚区8接入一个固支梁开关9,参考信号通过锚区8接入另一个固支梁开关。HEMT漏极6输出信号的另一种工作方式是选择第二端口15直接输出放大信号。

[0028] 直流偏置通过高频扼流圈和锚区8作用在固支梁开关上。高频扼流圈保证直流偏置与交流信号隔开。固支梁开关9的下拉电压设计为HEMT的阈值电压,当直流偏置小于下拉电压,固支梁开关不与栅极7接触,开关断开时,栅电压为0,异质结界面没有二维电子气沟道,HEMT截止,能够有效的减小栅极漏电流,降低功耗。

[0029] 当直流偏置达到或大于下拉电压,两个固支梁开关9均下拉与栅极7接触,开关闭合时,在栅电压的作用下,二维电子气在异质结界面聚集,形成沟道,如图4所示,HEMT导通。

参考信号和反馈信号通过HEMT相乘。漏极6输出信号包含了两信号之间的相位差信息,选择第一端口14输入低通滤波器,低通滤波器将漏极输出中的高频分量滤除,向压控振荡器输送一个直流电压,直流电压可以表示为:

$$[0030] \quad U_L = K \cos\left(\frac{(f_{ref} - f_{back})}{2\pi} t + \phi\right) \quad (1)$$

[0031] 其中K为HEMT增益系数, f_{ref} 为参考信号频率, f_{back} 为反馈信号频率, ϕ 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:

$$[0032] \quad \frac{1}{2\pi} \frac{df_o}{dt} = K_v U_L = K_v K \cos\left(\frac{(f_{ref} - f_{back})}{2\pi} t + \phi\right) \quad (2)$$

[0033] 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,频率变为原来的1/N,并作为反馈信号,重新输入HEMT。也就是:

$$[0034] \quad f_{back} = \frac{f_o}{N} \quad (3)$$

[0035] 经过反馈循环作用,反馈信号的频率最终和参考信号一致。即:

$$[0036] \quad \begin{aligned} f_{back} &= \frac{f_o}{N} = f_{ref} \\ \Rightarrow f_o &= N \times f_{ref} \end{aligned} \quad (4)$$

[0037] 所以,最终压控振荡器第三端口17输出的信号频率为参考信号频率的N倍,实现参考信号的倍频。

[0038] 只有一个固支梁开关9被下拉闭合,另一个固支梁开关9处于悬浮断开状态时,闭合的固支梁开关9下方形成二维电子气沟道,断开的固支梁开关9下方为高阻区,如图5所示,沟道与高阻区串联,有利于提高反向击穿电压。此时,只有闭合的固支梁开关9上的选通信号可以通过HEMT放大,放大信号通过第二端口15输出。当只有加载参考信号的固支梁开关9闭合时,参考信号通过HEMT放大,第二端口15输出频率为 f_{ref} 的放大信号。当只有加载反馈信号的固支梁开关9闭合时,反馈信号频率为压控振荡器频率经过除法器后的结果,即 f_o/N ,所以,第二端口15输出频率为 f_o/N 的放大信号。从而通过对一个固支梁开关9的单独控制,实现对单个信号的放大,扩大了电路的应用范围。此外,对于断开的固支梁开关9,能够减小栅极漏电流,降低功耗。

[0039] 本发明的GaAs基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT倍频器的制备方法如下:

[0040] 1) 在半绝缘P型GaAs衬底;

[0041] 2) 外延生长本征GaAs层约500nm;

[0042] 3) 外延生长本征AlGaAs隔离层约50nm;

[0043] 4) 生长N+型AlGaAs层约20nm,掺杂浓度为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$,控制厚度与掺杂浓度,使得HEMT管为增强型;

[0044] 5) 生长N+型GaAs层厚约300nm,掺杂浓度为 $3.5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$;

[0045] 6) 台面腐蚀隔离有源区;

[0046] 7) 生长氮化硅;

- [0047] 8) 光刻氮化硅层,刻出源漏极域,进行N⁺离子注入,形成源极和漏极,去除氮化硅;
- [0048] 9) 涂覆光刻胶,光刻去除电极接触位置的光刻胶;
- [0049] 10) 真空蒸发金锗镍/金;
- [0050] 11) 剥离,合金化形成源、漏欧姆接触电极;
- [0051] 12) 涂覆光刻胶,光刻去除栅极位置的光刻胶;
- [0052] 13) 生长厚度为0.5 μm Ti/Pt/Au;
- [0053] 14) 去除光刻胶以及光刻胶上的金属,形成肖特基接触的栅极;
- [0054] 15) 涂覆光刻胶,光刻出引线,下拉极板和固支梁锚区的窗口;
- [0055] 16) 生长一层厚度为0.3 μm 的Au;
- [0056] 17) 去除光刻胶,形成引线、下拉极板、固支梁的锚区;
- [0057] 18) 沉积绝缘层,应用外延工艺生长0.1 μm 的Si_xNi_{1-x}的绝缘层;
- [0058] 19) 光刻去除多余的绝缘层,仅保留下拉极板上方的绝缘层;
- [0059] 20) 通过旋涂方式形成PMGI牺牲层,然后光刻牺牲层,仅保留固支梁下方的牺牲层;
- [0060] 21) 生长一层用于电镀的底金:蒸发Ti/Au/Ti,作为种子层厚度50/150/30nm;
- [0061] 22) 涂覆光刻胶,光刻出固支梁,锚区和连接线的窗口;
- [0062] 23) 电镀一层金,其厚度为2 μm ;
- [0063] 24) 去除光刻胶,同时去除光刻胶上的金层;
- [0064] 25) 反刻钛/金/钛,腐蚀种子层,形成固支梁及以及连接线;
- [0065] 26) 去除聚酰亚胺牺牲层,释放MEMS固支梁;
- [0066] 27) 将制备的HEMT与外部电路连接,构成倍频器。
- [0067] 区分是否为该结构的标准如下:
- [0068] 本发明的GaAs基低漏电流双固支梁开关双栅HEMT倍频器,两个栅极并列设置,两个固支梁开关通过锚区分别悬浮在两个栅极上。参考信号和反馈信号分别通过锚区加载在两个固支梁开关上。固支梁开关的闭合或断开状态通过直流偏置控制,下拉电压设计为HEMT的阈值电压。当固支梁开关断开时,栅电压为0,HEMT截止。当两个固支梁开关均通过直流偏置下拉闭合与栅极接触时,二维电子气沟道形成,HEMT导通,参考信号和反馈信号通过HEMT相乘,漏极输出包含两信号的相位信息,经过低通滤波器,压控振荡器、除法器反馈循环,最终压控振荡器输出参考信号乘以N的频率信号。另外,下拉闭合单个固支梁开关可以实现对单个信号的放大,同时,另一个不被下拉闭合的固支梁开关下方形成高阻区,能有效的提高HEMT的反向击穿电压。

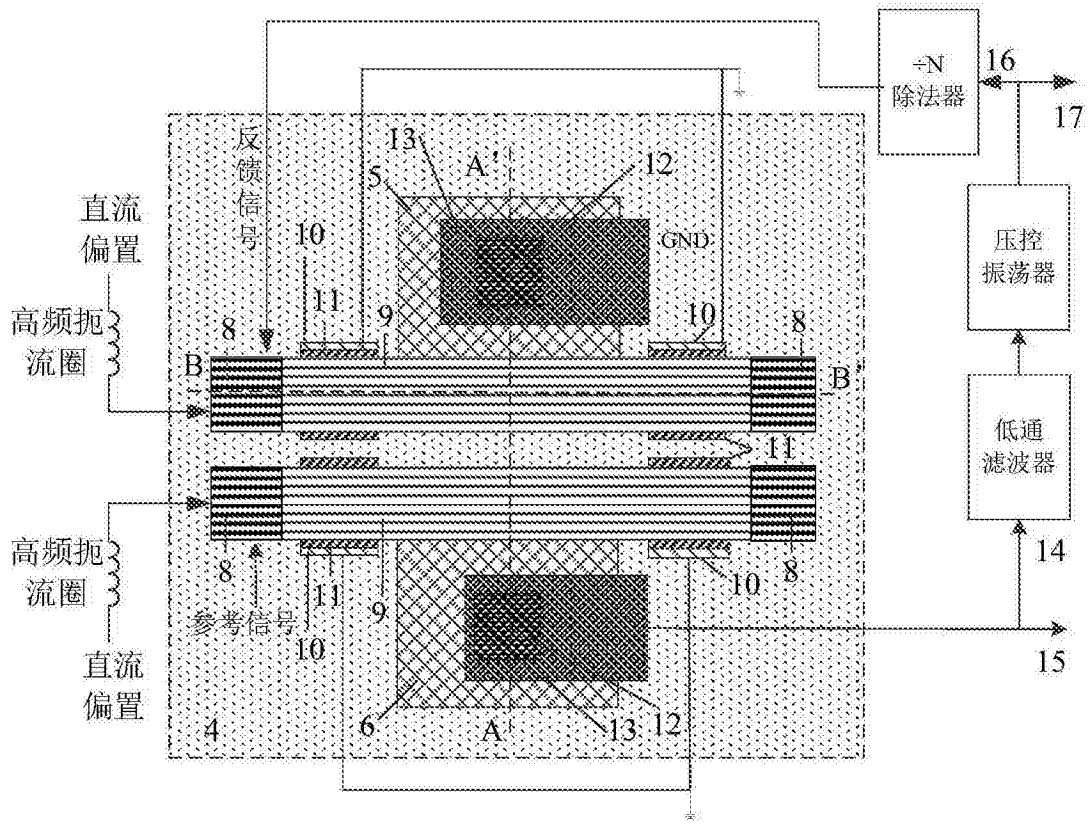


图1

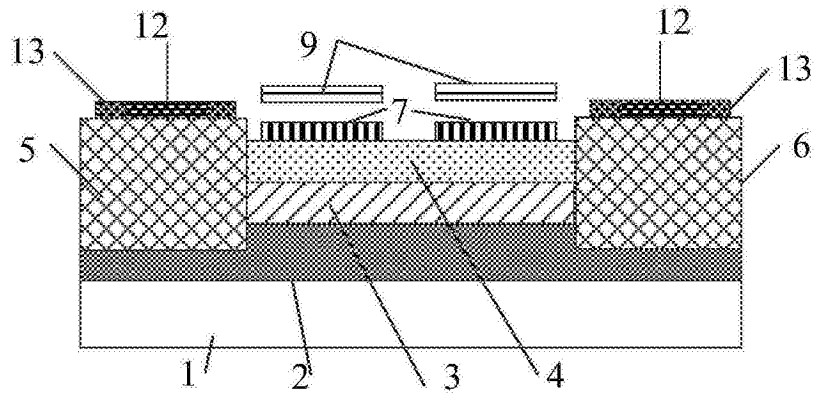


图2

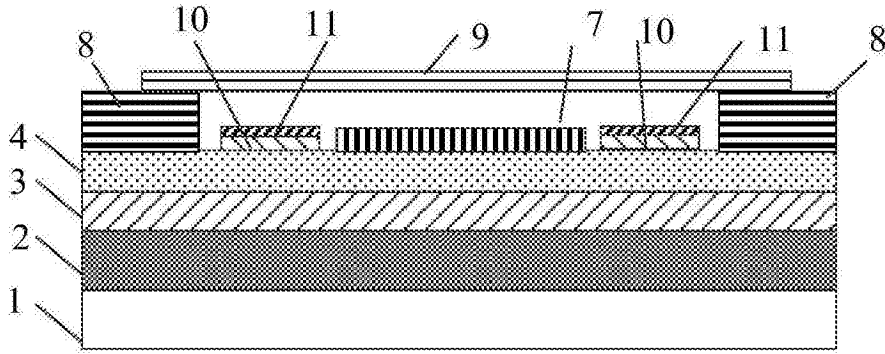


图3

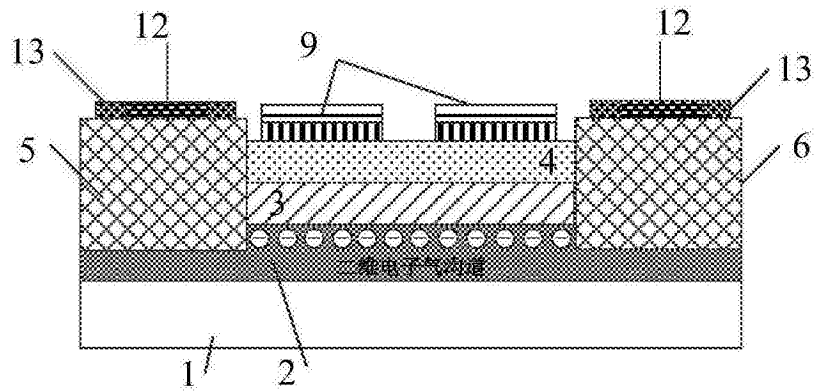


图4

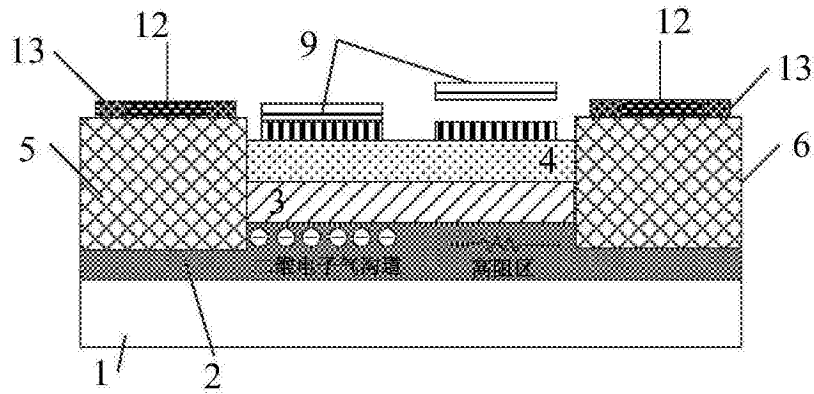


图5