



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106026921 B

(45)授权公告日 2019.04.05

(21)申请号 201610318871.7

(22)申请日 2016.05.14

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106026921 A

(43)申请公布日 2016.10.12

(73)专利权人 复旦大学  
地址 200433 上海市杨浦区邯郸路220号

(72)发明人 任俊彦 马顺利 魏东 陈沂

(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.  
H03B 5/12(2006.01)  
H03B 19/14(2006.01)  
A61B 5/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 104202042 A,2014.12.10,  
CN 101777871 A,2010.07.14,  
US 2008/0143446 A1,2008.06.19,  
KR 10-2014-0057711 A,2014.05.14,

审查员 吴一帆

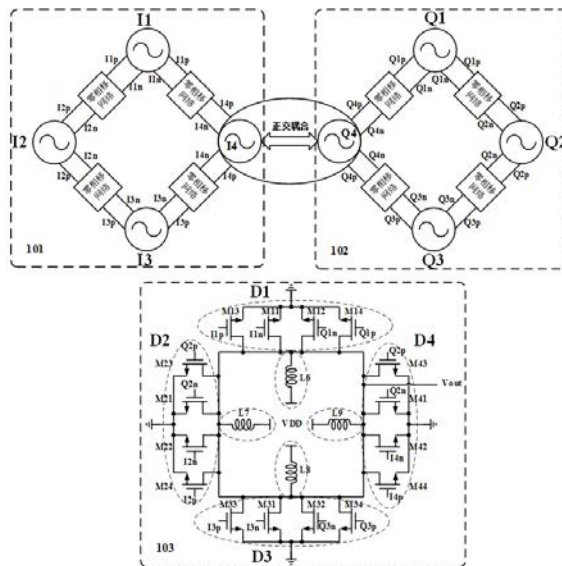
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54)发明名称

一种应用于太赫兹皮肤成像领域的CMOS集成电路太赫兹源

(57)摘要

本发明属于太赫兹CMOS生物成像技术领域,具体为应用于太赫兹皮肤成像领域的CMOS集成电路太赫兹源。本发明采用一种新型的四倍频注入锁定结构实现宽锁定范围和高转换增益倍频。该电路包括8个交叉耦合振荡器和4个倍频器;双推注入对管的正交输入采用电容交流方式耦合,栅极偏置电压设置可调,通过调节双推注入对管的偏置可以获得最大的转换增益和锁定范围。驱动电容负载时,该注入锁定倍频器可以实现300GHz到400GHz接近60%的锁定范围,转换增益最高可达7dB,整体功耗不超过18 mW,彻底克服工艺误差、温度漂移带来的锁定范围变化,中心频率浮动和输出摆幅偏低等影响。



1. 一种应用于太赫兹皮肤成像领域的CMOS集成电路太赫兹源,其特征在于,该太赫兹源电路结构包括8个交叉耦合振荡器和4个倍频器,其中,第一、第二、第三、第四4个交叉耦合振荡器I1、I2、I3和I4之间通过零相移网络相连,第五、第六、第七、第八4个交叉耦合振荡器Q1、Q2、Q3和Q4之间通过零相移网络相连,并且,第四交叉耦合振荡器I4和第八交叉耦合振荡器Q4正交耦合,第一、第二、第三、第四4个倍频器D1、D2、D3和D4并联,并且输出Vout相连接;

所述4个倍频器每个均由4个NMOS管、片上无源电感构成,4个NMOS管源极相连并且接地,漏极连接到电感一端,电感另一端与电源VDD相连;

所述8个交叉耦合振荡器中,第一、第二、第三交叉耦合振荡器I1、I2、I3和第五、第六、第七交叉耦合振荡器Q1、Q2、Q3内部结构完全相同,均由交叉耦合的NMOS管对、片上无源电感和器件寄生电容构成,所选取的无源电感Q值曲线在锁定频段范围内缓而平;NMOS管对M1、M2的漏端分别连接差分电感的两端,该差分电感的中间抽头与电源VDD相连接,并且NMOS管M1的漏与NMOS管M2的栅极相连接,NMOS管M2的漏与NMOS管M1的栅极相连接,NMOS管对M1、M2的源端与NMOS管M3的漏端相连接,NMOS管M3的栅极连接Bias1,源极接地;

第四、第八交叉耦合振荡器I4、Q4的拓扑结构相同;第四交叉耦合振荡器I4中,NMOS对管M4和M5源极接地,NMOS管M4漏极与NMOS管M6源极相连接,NMOS管M5漏极与NMOS管M7源极连接,NMOS管M6的栅极与NMOS管M7的漏极相连接,NMOS管M7的栅极与NMOS管M6的漏极相连接,并且NMOS管M6和NMOS管M7的漏极分别连接到差分电感的两端,该差分电感中间抽头与电源VDD相连;第八交叉耦合振荡器Q4中,NMOS对管M8和M9源极接地,NMOS管M8漏极与NMOS管M10源极相连接,NMOS管M9漏极与NMOS管M11源极连接,NMOS管M10的栅极与NMOS管M11的漏极相连接,NMOS管M11的栅极与NMOS管M10的漏极相连接,并且NMOS管M10和NMOS管M11的漏极分别连接到差分电感的两端,该差分电感中间抽头与电源VDD相连;第四交叉耦合振荡器I4与第八交叉耦合振荡器Q4耦合连接方式是:NMOS管M4漏极与NMOS管M9栅极相连接,NMOS管M5漏极与NMOS管M8栅极相连接,NMOS管M8漏极与NMOS管M4栅极相连接,NMOS管M9漏极与NMOS管M5栅极相连接;

零相移网络由电感L1、L2、L3和电容C1、C2、C3构成,电容C1跨接在电感L1和L2的一端,并分别于电容C2和C3的一端相连接,电感L3跨接在电容C2和C3的另一端。

## 一种应用于太赫兹皮肤成像领域的CMOS集成电路太赫兹源

### 技术领域

[0001] 本发明属于太赫兹皮肤成像技术领域,具体涉及CMOS集成电路太赫兹源。

### 背景技术

[0002] 随着太赫兹技术的发展,太赫兹-检测医学(太赫兹-LabMed)当前受到极大重视,太赫兹波成像技术具有更独特、更适用的物理特征,并且光子能量低,不会对生物大分子、生物细胞和组织产生有害电离,辐射剂量几乎为零,对人体伤害非常小,特别适合于对生物组织进行活体检查,为人体皮肤成像研究提供了一种新型可靠的技术方法。

[0003] 得益于器件尺寸的降低和工艺的进一步发展,CMOS集成电路也已进入毫米波乃至太赫兹频段,使得基于CMOS的太赫兹波成像芯片设计成为可能。CMOS太赫兹成像芯片具有低成本、便于射频/基带集成的特点。国际上,新加坡南洋理工大学(NTU)Hao Yu教授团队攻克了核心技术难点,针对单个CMOS晶体管低增益、低灵敏度、低输出功率和高损耗的特点,设计出了同相耦合振荡器、同相功率合成器、同相传输天线阵列和同相探测器,提高了CMOS发射源的发射功率和CMOS探测器的灵敏度,在此基础上,Hao Yu教授团队在65nm工艺下设计出了280GHz CMOS集成反射式成像系统,尽管如此,作为太赫兹成像芯片的关键模块,太赫兹检测器仍然是太赫兹成像芯片设计的难点和瓶颈。先要研究CMOS晶体管的设计,CMOS工艺设计太赫兹电路时存在固有缺陷:第一,使用条状多晶硅栅引起高的栅电阻,尤其在晶体管宽度较小的单指(single finger)/多指(multi finger)器件结构中更为明显;第二,在高频时由于CMOS的衬底损耗特性,导致无源器件品质因子很低,通常都低于10;第三,由掺杂散射引起的表面迁移率很低,从而需要采用针对性的物理版图优化研究方案。如采用多栅指(multi-gate finger)结构、夹形栅(folded-gate)环形多栅连接结构、最小化栅电阻等,提出更为有效可靠的版图优化和更准确的寄生参数分析方法,优化电路性。从而建立一套有效的有源器件的模型,然后通过流片来验证模型的有效性,完善太赫兹CMOS源,而验证太赫兹源的设计思路是采用片上耦合压控振荡器,通过测试电路设计、流片来验证模块电路的有效性。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提出一种应用于太赫兹皮肤成像领域的高功率的CMOS集成电路太赫兹源。

[0005] 本发明提供的CMOS集成电路太赫兹源,用于太赫兹CMOS生物成像领域,其特点是通过CMOS集成电路实现太赫兹波的发射,该太赫兹源电路结构如图1所示,该电路包括8个交叉耦合振荡器和4个倍频器,模块101中,4个交叉耦合振荡器I1、I2、I3和I4之间通过零相移网络相连,模块102中,Q1、Q2、Q3和Q4之间通过零相移网络相连,并且交叉耦合振荡器I4和交叉耦合振荡器Q4正交耦合,模块103中,4个倍频器D1、D2、D3和D4并联,并且输出Vout相连接。

[0006] 本发明中,所述交叉耦合振荡器由交叉耦合的NMOS管对、片上无源电感和器件寄

生电容构成,所选取的无源电感Q值曲线在锁定频段范围内缓而平,见图2所示。NMOS管对M1、M2的漏端分别连接差分电感的两端,该差分电感的中间抽头与电源VDD相连接,并且M1的漏与M2的栅极相连接,M2的漏与M1的栅极相连接,NMOS管对M1、M2的源端与NMOS管M3的漏端相连接,M3的栅极连接Bias1,源极接地。

[0007] 本发明中,所述倍频器是由4个NMOS管、片上无源电感构成。如图1中的103模块中所示,D1、D2、D3和D4是4个相同的倍频器,每个倍频器中,4个NMOS管源极相连并且接地,漏极连接到电感一端,电感另一端与电源VDD相连。

[0008] 本发明中,4倍频器采用一种新的四倍频注入锁定结构,实现宽锁定范围和高转换增益倍频。双推注入对管(M11、M12、M13、M14;M21、M22、M23、M224;M31、M32、M33、M34;M41、M42、M43、M44)的正交输入采用电容交流方式耦合,栅极偏置电压设置可调,通过调节双推注入对管的偏置可以获得最大的转换增益和锁定范围。驱动电容负载时,该注入锁定倍频器可以实现300GHz到400GHz接近60%的锁定范围,转换增益最高可达7dB,整体功耗不超过18 mW,彻底克服工艺误差、温度漂移带来的锁定范围变化,中心频率浮动和输出摆幅偏低等影响。

[0009] 本发明中,所述零相移网络由电感L1、L2、L3和电容C1、C2、C3构成,如图4所示,该零相移网络双端输入双端输出并且相位不发生改变,以此保证4个交叉耦合振荡器输出相位一致。

[0010] 任何本领域普通技术人员应可了解的是,可根据本发明所揭示的观念及特定实施例修改或设计出实现本发明相同目的的架构,此类同等架构并不超出本发明后附的权利要求所定义的精神和范围。

## 附图说明

[0011] 图1为应用于太赫兹皮肤成像领域的CMOS集成电路太赫兹源结构示意图。

[0012] 图2为交叉耦合振荡器结构示意图。

[0013] 图3为模块101中I4和模块102中Q4网络正交耦合方式示意图。

[0014] 图4为零相移网络结构示意图。

## 具体实施方式

[0015] 下面结合附图对本发明应用于太赫兹皮肤成像领域的CMOS集成电路太赫兹源进行详细说明。

[0016] 本发明的电路结构如附图1所示,分为三个模块101、102和103,其中两个模块101和102是8个交叉耦合振荡器电路,模块101由4个交叉耦合振荡器I1、I2、I3和I4组成,且I1与I2,I2与I3,I3与I4,I4与I1之间分别有零相移网络连接;模块102由4个交叉耦合振荡器Q1、Q2、Q3和Q4组成,且Q1与Q2,Q2与Q3,Q3与Q4,Q4与Q1之间分别有零相移网络连接;I4与Q4通过正交耦合连接。

[0017] 其中I1、I2、I3和Q1、Q2、Q3内部结构完全相同,如图2所示,NMOS管对M1、M2的漏端分别连接差分电感的两端,该差分电感的中间抽头与电源VDD相连接,并且M1的漏与M2的栅极相连接,M2的漏与M1的栅极相连接,NMOS管对M1、M2的源端与NMOS管M3的漏端相连接,M3的栅极连接Bias1,源极接地。而I4、Q4两个交叉耦合振荡器则按照如图3所示的耦合方式

进行连接, I4和Q4的拓扑结构相同, I4中, NMOS对管M4和M5源极接地, M4漏极与M6源极相连接, M5漏极与M7源极连接, M6的栅极与M7的漏极相连接, M7的栅极与M6的漏极相连接, 并且M6和M7的漏极分别连接到差分电感的两端, 该差分电感中间抽头与电源VDD相连; Q4中, NMOS对管M8和M9源极接地, M8漏极与M10源极相连接, M9漏极与M11源极连接, M10的栅极与M11的漏极相连接, M11的栅极与M10的漏极相连接, 并且M10和M11的漏极分别连接到差分电感的两端, 该差分电感中间抽头与电源VDD相连; I4与Q4耦合连接方式是: M4漏极与M9栅极相连接, M5漏极与M8栅极相连接, M8漏极与M4栅极相连接, M9漏极与M5栅极相连接。

[0018] 零相移网络结构如图4所示, 该网络由电感L1、L2、L3和电容C1、C2、C3构成, 电容C1跨接在电感L1和L2的一端, 并分别于电容C2和C3的一端相连接, 电感L3跨接在电容C2和C3的另一端。以此保证4个交叉耦合振荡器相位一致。

[0019] 模块103是4个倍频器: D1、D2、D3和D4。D1、D2、D3和D4拓扑结构相同, D1中, NMOS管对M11、M12、M13和M14源极与地相连接, 漏极与电感L6相连接, L6的另一端与电源VDD相连; D2中, NMOS管对M21、M22、M23和M24源极与地相连接, 漏极与电感L7相连接, L7的另一端与电源VDD相连; D3中, NMOS管对M31、M32、M33和M34源极与地相连接, 漏极与电感L8相连接, L8的另一端与电源VDD相连; D4中, NMOS管对M41、M42、M43和M44源极与地相连接, 漏极与电感L9相连接, L9的另一端与电源VDD相连。D1、D2、D3和D4的输出连接在一起, 即103模块中所有NMOS管的漏极相连接, 作为Vout输出。

[0020] 模块101和102中的8个交叉耦合振荡器, 每个振荡器栅极偏置电压设置可调, 输出Vout1和Vout2通过零相移网络和其他交叉耦合振荡器连接每个振荡器会产生两个输出, 分别为I1p、I1n、I2p、I2n、I3p、I3n、I4p、I4n、Q1p、Q1n、Q2p、Q2n、Q3p、Q3n、Q4p、Q4n, 这16个信号将作为模块103中输入信号, 作为NMOS晶体管的偏置电压, 实现四倍频器。该倍频器采用了一种新的四倍频注入锁定结构实现宽锁定范围和高转换增益倍频。双推注入对管的正交输入采用电容交流方式耦合, 通过调节双推注入对管的偏置可以获得最大的转换增益和锁定范围。驱动电容负载时, 该注入锁定倍频器可以实现300GHz到400GHz接近60%的锁定范围, 转换增益最高可达7dB, 整体功耗不超过18mW, 彻底克服工艺误差、温度漂移带来的锁定范围变化, 中心频率浮动和输出摆幅偏低等影响, 使得能够应用于高性能太赫兹源中。

[0021] 本发明的内容及优点虽然已详细揭示如上, 然而必须说明的是, 本发明的范围并不受限于说明书中所描述的方法及步骤等特定实施例, 在不脱离本发明的精神和范围内, 任何本领域普通技术人员皆可根据本发明所揭示的内容做出许多变形和修改, 这些也应视为本发明的保护范围。

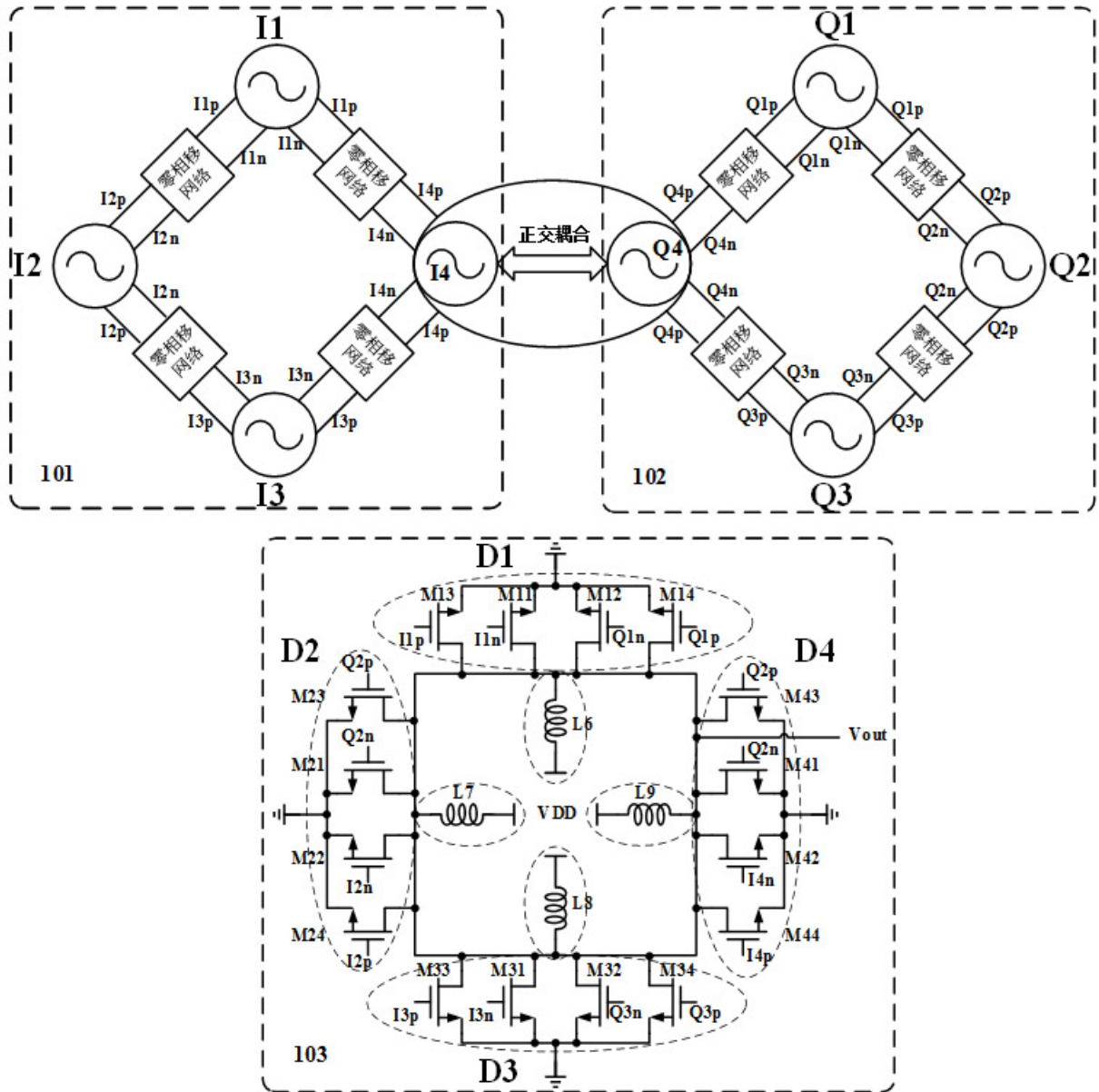


图1

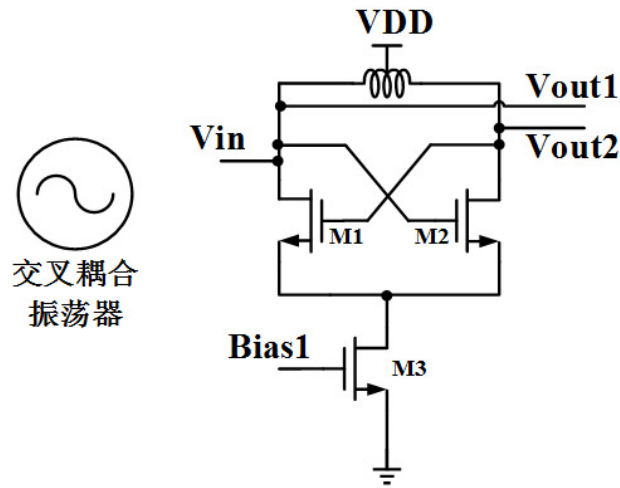


图2

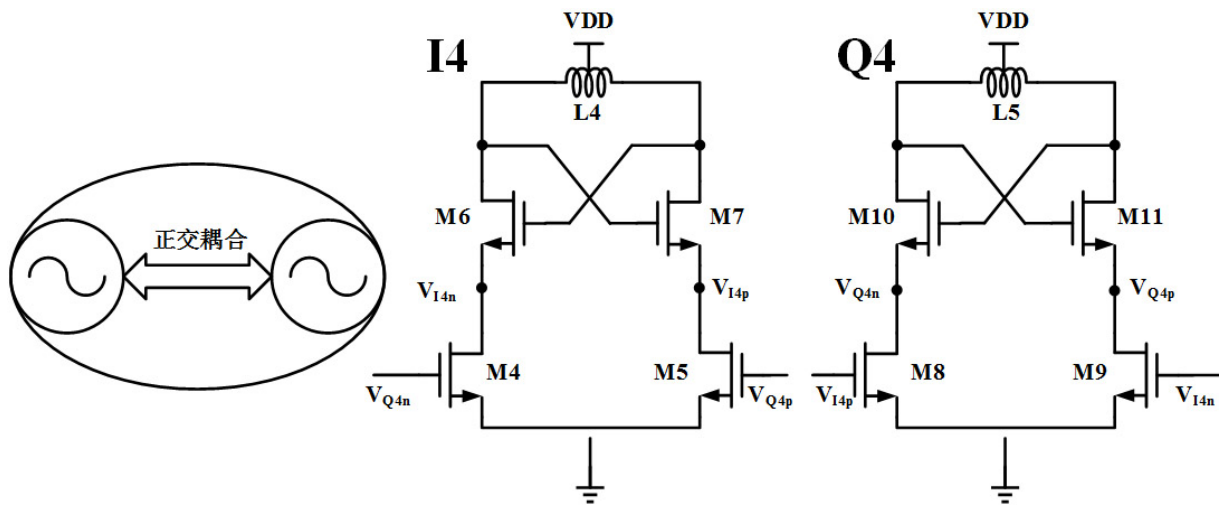


图3

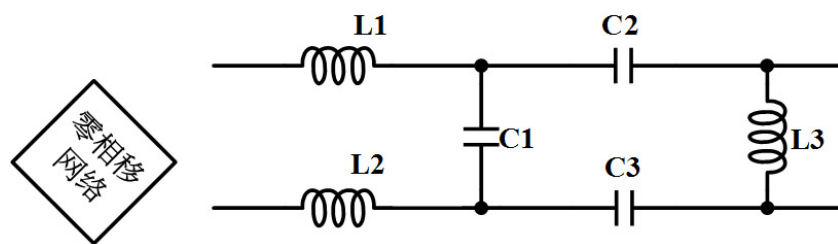


图4

|                |  |         |            |
|----------------|--|---------|------------|
| 专利名称(译)        | 一种应用于太赫兹皮肤成像领域的CMOS集成电路太赫兹源                    |         |            |
| 公开(公告)号        | <a href="#">CN106026921B</a>                   | 公开(公告)日 | 2019-04-05 |
| 申请号            | CN201610318871.7                               | 申请日     | 2016-05-14 |
| [标]申请(专利权)人(译) | 复旦大学   |         |            |
| 申请(专利权)人(译)    | 复旦大学   |         |            |
| 当前申请(专利权)人(译)  | 复旦大学   |         |            |
| [标]发明人         | 任俊彦<br>马顺利<br>魏东<br>陈沂                         |         |            |
| 发明人            | 任俊彦<br>马顺利<br>魏东<br>陈沂                         |         |            |
| IPC分类号         | H03B5/12 H03B19/14 A61B5/00                    |         |            |
| CPC分类号         | A61B5/00 H03B5/1206 H03B19/14                  |         |            |
| 代理人(译)         | 陆飞   |         |            |
| 审查员(译)         | 吴一帆  |         |            |
| 其他公开文献         | CN106026921A                                   |         |            |
| 外部链接           | <a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a> |         |            |

摘要(译)

本发明属于太赫兹CMOS生物成像技术领域，具体为应用于太赫兹皮肤成像领域的CMOS集成电路太赫兹源。本发明采用一种新型的四倍频注入锁定结构实现宽锁定范围和高转换增益倍频。该电路包括8个交叉耦合振荡器和4个倍频器；双推注入对管的正交输入采用电容交流方式耦合，栅极偏置电压设置可调，通过调节双推注入对管的偏置可以获得最大的转换增益和锁定范围。驱动电容负载时，该注入锁定倍频器可以实现300GHz到400GHz接近60%的锁定范围，转换增益最高可达7dB，整体功耗不超过18 mW，彻底克服工艺误差、温度漂移带来的锁定范围变化，中心频率浮动和输出摆幅偏低等影响。

