



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105184026 A

(43) 申请公布日 2015. 12. 23

(21) 申请号 201510707912. 7

(22) 申请日 2015. 10. 27

(71) 申请人 上海华力微电子有限公司

地址 201203 上海市浦东新区张江开发区高
斯路 568 号

(72) 发明人 王伟 吕少力

(74) 专利代理机构 上海思微知识产权代理事务
所（普通合伙） 31237

代理人 智云

(51) Int. Cl.

G06F 17/50(2006. 01)

权利要求书2页 说明书8页 附图8页

(54) 发明名称

一种 MOS 可变电容的仿真模型建立方法和仿
真方法

(57) 摘要

本发明提供一种 MOS 可变电容的仿真模型建
立方法和仿真方法, 建立满足以下方程式的初始
仿真模型 $c = (A \times \tanh(-v(g, b) \times B+C)+D) \times (\tanh(-v(g, b) \times E+F)+G) \times (H \times lr \times wr \times mr \times nf)$
 $\times (\exp(-v(g, b) \times I+J)+K)$ 对上述公式中的参数
A ~ K 进行调试, 直至使利用模型公式计算结果得
到的电容对电压特性曲线与实际测量得到的电容
对电压特性曲线相匹配, 得到参数 A ~ K 的相应具
体值, 代入初始仿真模型的公式中, 建立得到 MOS
可变电容的最终仿真模型, 使用最终仿真模型进
行仿真模拟。本发明不仅适用于所有类型的 MOS
可变电容, 并且从数学分析的角度出发, 通过不
停地增加、减少参数并调试参数的值从而对仿真
模型公式优化, 直至 MOS 可变电容模型在 RF 射频
应用中出现的电容对电压的二阶导数跳变显著减
少, 同时 MOS 可变电容的电容对电压特性曲线的
仿真精度显著提高。

建立初始仿真模型, 所述初始仿真模型为:
 $c = (A \times \tanh(-v(g, b) \times B+C)+D) \times (\tanh(-v(g, b) \times E+F)+G) \times (H \times lr \times wr \times mr \times nf)$
 $\times (\exp(-v(g, b) \times I+J)+K)$

对初始仿真模型中的参数 A~K 进行调试, 直至利用初始仿真模型计
算结果得到的 MOS 可变电容的电容对电压特性曲线与实际测量得
到的电容对电压特性曲线相匹配, 并将匹配时得到的参数 A~K 代入
初始仿真模型中以得到 MOS 可变电容的最终仿真模型

1. 一种 MOS 可变电容的仿真模型建立方法, 其特征在于, 包括 :

步骤一 : 建立初始仿真模型, 所述初始仿真模型为

$$c = (A \times \tanh(-v(g, b) \times B + C) + D) \times (\tanh(-v(g, b) \times E + F) + G) \times (H \times l_r \times w_r \times m_r \times n_f) \times (\exp(-v(g, b) \times I + J) + K)$$

其中, c 为所述初始仿真模型计算后得到的电容, $v(g, b)$ 为所述初始仿真模型中栅极和衬底之间的电压, A 为所述初始仿真模型的电容对电压特性曲线中影响电容对电压斜率的参数, B 为影响所述初始仿真模型所对应的 MOS 可变电容中积累区的电容幅度的参数, E 为影响所述初始仿真模型所对应的 MOS 可变电容中反型区的电容幅度的参数, C 为所述初始仿真模型的电容对电压特性曲线中用于调整在电压趋于 0V 时电容沿着电压轴方向作调整但不影响其它区域的电容的参数, F 为所述初始仿真模型的电容对电压特性曲线中用于调整电容沿着电压轴方向作调整而不影响其它区域的电容的参数, D, G, H, I, J, K 分别为所述初始仿真模型的电容对电压特性曲线中影响电容在电容轴所在的方向上移动的第一参数、第二参数、第三参数、第四参数、第五参数、第六参数, l_r, w_r, m_r, n_f 分别代表所述初始仿真模型所对应的 MOS 可变电容的栅极沟道的长度、宽度、个数以及栅极的个数;

步骤二 : 对所述初始仿真模型中的参数 $A \sim K$ 进行调试, 直至利用所述初始仿真模型计算结果得到的 MOS 可变电容的电容对电压特性曲线与实际测量得到的电容对电压特性曲线相匹配, 并将匹配时得到的参数 $A \sim K$ 代入所述初始仿真模型中以得到 MOS 可变电容的最终仿真模型。

2. 如权利要求 1 所述的 MOS 可变电容的仿真模型建立方法, 其特征在于, 根据 MOS 可变电容的类型、尺寸和电压工作区域对所述初始仿真模型中的参数 $A \sim K$ 进行调试。

3. 如权利要求 1 所述的 MOS 可变电容的仿真模型建立方法, 其特征在于, 利用 EDA 系统建立所述 MOS 可变电容的仿真模型。

4. 如权利要求 3 所述的 MOS 可变电容的仿真模型建立方法, 其特征在于, 所述 EDA 系统包括 SPICE 仿真系统。

5. 如权利要求 4 所述的 MOS 可变电容的仿真模型建立方法, 其特征在于, 所述 MOS 可变电容的仿真模型为 SPICE 仿真系统中的宏模型。

6. 如权利要求 1 所述的 MOS 可变电容的仿真模型建立方法, 其特征在于, 所述 MOS 可变电容为 PMOS 可变电容或者 NMOS 可变电容。

7. 如权利要求 1 所述的 MOS 可变电容的仿真模型建立方法, 其特征在于, 所述 A, C, D, F, H, I, J, K 调试的范围为 $[-1, 1]$ 。

8. 如权利要求 1 所述的 MOS 可变电容的仿真模型建立方法, 其特征在于, 所述 E, G 调试的范围为 $[-5, 5]$ 。

9. 如权利要求 1 所述的 MOS 可变电容的仿真模型建立方法, 其特征在于, 所述 B 调试的范围为 $[-10, 10]$ 。

10. 如权利要求 1 所述的 MOS 可变电容的仿真模型建立方法, 其特征在于, 所述 MOS 可变电容包括 : 形成在一半导体衬底中的阱区; 形成于所述半导体衬底上的栅极; 以及形成于所述栅极两侧的阱区中的源区和漏区。

11. 如权利要求 10 所述的 MOS 可变电容的仿真模型建立方法, 其特征在于, 实际测量所述 MOS 可变电容时, 所述 MOS 可变电容的漏极、源极皆接地, 并在所述栅极上加载电压。

12. 一种 MOS 可变电容的仿真方法, 其特征在于, 利用权利要求 1 ~ 11 中任意一项所述的方法得到的 MOS 可变电容的最终仿真模型进行仿真。

一种 MOS 可变电容的仿真模型建立方法和仿真方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体电路仿真领域,特别涉及一种 MOS 可变电容的仿真模型建立方法和仿真方法。

背景技术

[0002] 随着移动通信技术的发展,射频 (RF) 电路的研究引起了广泛的重视。采用标准 CMOS 工艺实现压控振荡器 (VCO),是实现 RF 射频 CMOS 集成收发机的关键。而可变电容作为一种可以随施加电压变化而发生不同的电容变化的基本器件因其优良的品质因数和稳定的电学特性而在模拟集成电路设计中得到了广泛的使用。标准的 CMOS 工艺中常用的可变电容有:变容二极管、MOS 可变电容。而 MOS 可变电容又分为普通 MOS 可变电容和积累型 MOS 可变电容。将 MOS 可变电容的 MOS 管栅极作为可变电容的一端,将漏极、源极和衬底(或者阱区)连接在一起作为另一端,随着控制电压的变化,会经历五个工作区域:积累区、耗尽区、弱反型区、中等反型区和强反型区。

[0003] EDA 技术是以计算机为工具,设计者在 EDA 系统平台上,用硬件描述语言 VHDL 完成设计文件,然后由计算机自动地完成逻辑编译、化简、分割、综合、优化、布局、布线和仿真,直至对于特定目标芯片的适配编译、逻辑映射和编程下载等工作。EDA 技术的出现,极大地提高了电路设计的效率和可操作性,减轻了设计者的劳动强度。

[0004] SPICE 是一种功能强大的通用模拟电路仿真器,属于 EDA 系统中的重要部分。自 1972 年推出第一版至今已有几十年的历史。该程序主要用于集成电路的电路分析程序中,SPICE 的网表格式变成了通常模拟电路和晶体管级电路描述的标准工业标准,主要用于 IC 设计中的模拟电路,数模混合电路,电源电路等电子系统的设计和仿真。SPICE 模型由两部分组成:模型方程式 (Model Equations) 和模型参数 (Model Parameters)。由于提供了模型方程式,因而可以把 SPICE 模型与仿真器的算法非常紧密地联接起来,可以获得更好的分析效率和分析结果。SPICE 建模工程师依靠器件理论及经验,提取模型参数以供 SPICE 仿真实程序使用。目前业界通用的 SPICE 模型有 BSIM 系列和经验模型(宏模型)等。SPICE 模型的分析精度主要取决于模型参数的来源即数据的精确性,以及模型方程式的适用范围。

[0005] 通常一个成熟的 CMOS 工艺技术平台开发离不开对 MOSFET、二极管、三极管、MOM 电容、MIM 电容、电阻以及 MOS 可变电容等基本器件的 SPICE 建模。后续的 PDK (Process Design Kit 工艺设计包) 开发、IP 库以及各种标准单元库乃至很多客户定制化的芯片设计开发都是基于 SPICE 模型库。在 MOS 可变电容的 SPICE 模型开发过程中,因其具有 MOSFET 的基本设计及 CV(电容 - 电压) 特性,最初很多 SPICE 建模工程师都比较喜欢采用 BSIM 模型,BSIM 模型是由美国加利福尼亚州伯克利分校开发的,用于测试电路仿真和 CMOS 技术发展的一种基于物理的,具有精确性、可升级性、健壮性、语言性等特点的系统模拟系统,能提供标准电路的直流分析,瞬时分析,交流分析等数据。由于这是一种集成度很高的紧凑型模型 (Compact 模型),用户无法对模型方程式进行修改,只能对模型参数进行调整。由于 BSIM 模型是一种将源端作为参考点的模型,因此在对 MOS 可变电容的 CV 曲线(电容对电压特性

曲线) 进行跨导分析时在电压 $V = 0$ 处会发生跳变, 从而导致模型分析的失效。另一种作法是采用基于半导体表面势为基准的 Compact 模型, 从而可避免出现 BSIM 模型 CV 特性跨导 $V = 0$ 处的跳变问题, 但由于缺乏积累区模型拟合参数导致很多情况下无法提高积累区的模型精度。

[0006] 传统的采用 BSIM Compact SPICE 模型可以比较简单的实现 MOS Varactor 可变电容器的 CV(电压电容特性) 特性的参数提取, 但随着集成电路工艺水平进入深亚微米, 制造技术愈来愈复杂, 各种寄生效应使采用这种传统方式建立 MOS Varactor 可变电容器的模型仿真精度变得很不理想。如图 1、图 3 中分别对应的是采用 55nm 先进薄氧化层工艺制作的 PMOS 可变电容器的大面积 $54 \mu\text{m} \times 54 \mu\text{m}$ 结构和小面积 $9 \mu\text{m} \times 9 \mu\text{m}$ 结构的电压电容特性曲线, 点是实测数据, 测试时, 保证衬底和源区之间的电压为 0V、漏区和源区之间的电压为 0V, 加载电压的范围为 $[-1.5\text{V}, 1.5\text{V}]$, 横坐标为栅极和源区之间的电压变化, 纵坐标为栅极上测得电容, 实线是 SPICE 模型的仿真结果, 可以看到随着电压 (x 轴方向) 从正压变到负压, 电容会遵循一条特定函数的变化方式发生变化, 但明显可以看到模型仿真结果同数据有相当大的误差, 而且从图 2 和图 4 上可以看到电容对电压的二阶导数特性在大约 -0.75V 和 -0.6V 附近会出现跳变, 这种紧凑型模型, 即 BSIM 模型是一种将源端作为参考点的模型, 因此在对 MOS 可变电容的 CV 曲线 (电容对电压特性曲线) 进行跨导分析时在电压 $V = 0$ 处会发生跳变, 并且由于无法修改模型公式, 从而会导致模型分析的失效, 这是器件特性在电路设计使用中的大忌, 若使用这种模型进行设计很可能会导致电路的不收敛最终功能失效。

[0007] 因此, 有必要发明一种 MOS 可变电容的仿真模型建立方法和仿真方法, 能更好的提升 MOS 可变电容的电压电容特性的模型仿真精度, 同时解决 MOS 可变电容的仿真模型在 RF 射频应用中出现的电容对电压的二阶导数跳变问题。

发明内容

[0008] 为解决上述问题, 本发明提供一种 MOS 可变电容的仿真模型建立方法和仿真方法, 建立满足以下方程式的初始仿真模型

$$c = (A \times \tanh(-v(g, b) \times B+C) + D) \times (\tanh(-v(g, b) \times E+F) + G) \times (H \times l_r \times w_r \times m_r \times n_f) \times (\exp(-v(g, b) \times I+J) + K)$$

[0010] 对上述初始仿真模型的公式中的参数 $A \sim K$ 进行调试, 直至使利用该公式计算结果得到的电容对电压特性曲线与实际测量得到的电容对电压特性曲线相匹配, 得到参数 $A \sim K$ 的相应具体值, 代入初始仿真模型的公式中, 建立得到 MOS 可变电容的最终仿真模型, 使用最终仿真模型进行仿真模拟。本发明不仅适用于所有类型的 MOS 可变电容, 并且从数学分析的角度出发, 通过不停地增加、减少参数并调试参数的值从而对仿真模型公式的优化, 直至 MOS 可变电容模型在 RF 射频应用中出现的电容对电压的二阶导数跳变显著减少, 同时 MOS 可变电容的电容对电压特性曲线的仿真精度显著提高。

[0011] 为达到上述目的, 本发明提供一种 MOS 可变电容的仿真模型建立方法, 包括以下步骤:

[0012] 步骤一: 建立初始仿真模型, 所述初始仿真模型为

$$c = (A \times \tanh(-v(g, b) \times B+C) + D) \times (\tanh(-v(g, b) \times E+F) + G) \times (H \times l_r \times w_r \times m_r \times n_f) \times (\exp(-v(g, b) \times I+J) + K)$$

$\times nf) \times (\exp(-v(g, b) \times I+J)+K)$

[0014] 其中, c 为所述初始仿真模型计算后得到的电容, v(g, b) 为所述初始仿真模型中栅极和衬底之间的电压, A 为所述初始仿真模型的电容对电压特性曲线中影响电容对电压斜率的参数, B 为影响所述初始仿真模型所对应的 MOS 可变电容中积累区的电容幅度的参数, E 为影响所述初始仿真模型所对应的 MOS 可变电容中反型区的电容幅度的参数, C 为所述初始仿真模型的电容对电压特性曲线中用于调整在电压趋于 0V 时电容沿着电压轴方向作调整但不影响其它区域的电容的参数, F 为所述初始仿真模型的电容对电压特性曲线中用于调整电容沿着电压轴方向作调整而不影响其它区域的电容的参数, D、G、H、I、J、K 分别为所述初始仿真模型的电容对电压特性曲线中影响电容在电容轴所在的方向上移动的第一参数、第二参数、第三参数、第四参数、第五参数、第六参数, lr、wr、mr、nf 分别代表所述初始仿真模型所对应的 MOS 可变电容的栅极沟道的长度、宽度、个数以及栅极的个数;

[0015] 步骤二:对所述初始仿真模型中的参数 A ~ K 进行调试,直至利用所述初始仿真模型计算结果得到的 MOS 可变电容的电容对电压特性曲线与实际测量得到的电容对电压特性曲线相匹配,并将匹配时得到的参数 A ~ K 代入所述初始仿真模型中以得到 MOS 可变电容的最终仿真模型。

[0016] 作为优选,根据 MOS 可变电容的类型、尺寸和电压工作区域对所述初始仿真模型中的参数 A ~ K 进行调试。

[0017] 作为优选,利用 EDA 系统建立所述 MOS 可变电容的仿真模型。

[0018] 作为优选,所述 EDA 系统包括 SPICE 仿真系统。

[0019] 作为优选,所述 MOS 可变电容的仿真模型为 SPICE 仿真系统中的宏模型。

[0020] 作为优选,所述 MOS 可变电容为 PMOS 可变电容或者 NMOS 可变电容。

[0021] 作为优选,所述 A、C、D、F、H、I、J、K 调试的范围为 [-1, 1]。

[0022] 作为优选,所述 E、G 调试的范围为 [-5, 5]。

[0023] 作为优选,所述 B 调试的范围为 [-10, 10]。

[0024] 作为优选,所述 MOS 可变电容包括:形成在一半导体衬底中的阱区;形成于所述半导体衬底上的栅极;以及形成于所述栅极两侧的阱区中的源区和漏区。

[0025] 作为优选,实际测量所述 MOS 可变电容时,所述 MOS 可变电容的漏极、源极皆接地,并在所述栅极上加载电压。

[0026] 本发明还提供一种 MOS 可变电容的仿真方法,利用上述的建立仿真模型的方法得到的 MOS 可变电容的最终仿真模型进行仿真。

[0027] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:本发明提供一种 MOS 可变电容的仿真模型建立方法,包括以下步骤:

[0028] 步骤一:建立初始仿真模型,所述初始仿真模型为

[0029] $c = (A \times \tanh(-v(g, b) \times B+C)+D) \times (\tanh(-v(g, b) \times E+F)+G) \times (H \times lr \times wr \times mr \times nf) \times (\exp(-v(g, b) \times I+J)+K)$

[0030] 其中, c 为所述初始仿真模型计算后得到的电容, v(g, b) 为所述初始仿真模型中栅极和衬底之间的电压, A 为所述初始仿真模型的电容对电压特性曲线中影响电容对电压斜率的参数, B 为影响所述初始仿真模型所对应的 MOS 可变电容中积累区的电容幅度的参数, E 为影响所述初始仿真模型所对应的 MOS 可变电容中反型区的电容幅度的参数, C 为所

述初始仿真模型的电容对电压特性曲线中用于调整在电压趋于 0V 时电容沿着电压轴方向作调整但不影响其它区域的电容的参数, F 为所述初始仿真模型的电容对电压特性曲线中用于调整电容沿着电压轴方向作调整而不影响其它区域的电容的参数, D、G、H、I、J、K 分别为所述初始仿真模型的电容对电压特性曲线中影响电容在电容轴所在的方向上移动的第一参数、第二参数、第三参数、第四参数、第五参数、第六参数, lr、wr、mr、nf 分别代表所述初始仿真模型所对应的 MOS 可变电容的栅极沟道的长度、宽度、个数以及栅极的个数;

[0031] 步骤二: 对所述初始仿真模型中的参数 A ~ K 进行调试, 直至利用所述初始仿真模型计算结果得到的 MOS 可变电容的电容对电压特性曲线与实际测量得到的电容对电压特性曲线相匹配, 并将匹配时得到的参数 A ~ K 代入所述初始仿真模型中以得到 MOS 可变电容的最终仿真模型。

[0032] 本发明还提供一种 MOS 可变电容的仿真方法, 利用上述的建立仿真模型的方法得到的 MOS 可变电容的最终仿真模型进行仿真。

[0033] 本发明在大量实验数据和模型公式的比较, 得出 MOS 可变电容的初始模型, 即得到初始仿真模型公式, 这是一种通用的仿真模型公式, 然后对该模型公式中的参数 A ~ K 进行调试, 当利用该初始仿真模型公式计算结果得到的电容对电压特性曲线与实际测量得到的电容对电压特性曲线匹配后, 得出具体的参数 A ~ K 的取值, 并代入初始仿真模型公式中, 得到最终仿真模型, 然后利用该仿真模型进行仿真模拟。这种仿真模型建立方法以及利用建立得到的仿真模型进行仿真的仿真方法不仅适用于所有类型的 MOS 可变电容, 并且从数学分析的角度出发, 通过不停地增加、减少参数并调试参数的值从而对仿真模型公式的优化, 直至得出的仿真模型不再出现 MOS 可变电容在 RF 射频应用中的电容对电压的二阶导数跳变, 同时 MOS 可变电容的电压电容特性的模型仿真精度显著提升。

附图说明

[0034] 图 1 为现有技术中面积为 $54 \mu m \times 54 \mu m$ MOS 可变电容结构的 BSIM Compact SPICE 模型的电容 - 电压特性曲线;

[0035] 图 2 为图 1 模型的电容 - 电压二阶导数特性曲线;

[0036] 图 3 为现有技术中面积为 $9 \mu m \times 9 \mu m$ MOS 可变电容结构的 BSIM Compact SPICE 模型的电容 - 电压特性曲线;

[0037] 图 4 为图 3 模型的电容 - 电压二阶导数特性曲线;

[0038] 图 5 为本发明实施例一的面积为 $54 \mu m \times 54 \mu m$ MOS 可变电容结构 SPICE 模型的电容 - 电压特性曲线;

[0039] 图 6 为图 5 模型的电容 - 电压二阶导数特性曲线;

[0040] 图 7 为在测量条件相等的情况下参数 A、B、E 对电容 - 电压特性曲线仿真结果的影响;

[0041] 图 8 为在测量条件相等的情况下参数 C 在电压 0V 附近的对电容 - 电压特性曲线仿真结果的影响;

[0042] 图 9 为在测量条件相等的情况下参数 F 对电容 - 电压特性曲线仿真结果的影响;

[0043] 图 10 为在测量条件相等的情况下参数 D、G、H、I、J、K 影响对电容 - 电压特性曲线仿真结果的影响;

- [0044] 图 11 为本发明实施例一 MOS 可变电容结构的俯视图；
- [0045] 图 12 为图 11 中 MOS 可变电容结构的剖面示意图；
- [0046] 图 13 为本发明实施例二的面积为 $9 \mu m \times 9 \mu m$ MOS 可变电容结构 SPICE 模型的电容 - 电压特性曲线；
- [0047] 图 14 为图 13 模型的电容 - 电压二阶导数特性曲线；
- [0048] 图 15 为本发明提供的 MOS 可变电容的仿真模型建立方法的流程图。
- [0049] 图中：1- 栅极、2- 源区、3- 漏区、4- 阵区、5- 衬底、6- 栅极氧化层。

具体实施方式

[0050] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。

[0051] 实施例一

[0052] 为达到上述目的，本发明采用 EDA 系统包括 SPICE 仿真系统中比较灵活的 Macro 宏模型，通过大量的实验数据和模型公式的比较，最终找到了一种针对 MOS 可变电容的通用的宏模型公式。通过对 MOS 可变电容的电容电压特性的分析，发现用双曲函数 $\tanh(x)$ (x 是施加于栅极 1 的电压) 与指数函数 $\exp(x)$ (x 是施加于栅极 1 的电压) 相乘并结合尺寸相关的参数 $A \sim K$ ，得到了一种 MOS 可变电容的仿真模型建立方法以及仿真方法，可以得到比较精确的仿真结果，请参照图 15，包括以下步骤：

[0053] 建立满足以下模型方程式的初始仿真模型：

$$c = (A \times \tanh(-v(g, b) \times B+C)+D) \times (\tanh(-v(g, b) \times E+F)+G) \times (H \times l_r \times w_r \times m_r \times n_f) \times (\exp(-v(g, b) \times I+J)+K)$$

[0055] 其中， c 为初始仿真模型计算后得到的电容， $v(g, b)$ 为初始仿真模型中栅极 1 和衬底 5 两端之间的电压。

[0056] 关于参数 $A \sim K$ ：

[0057] 请参照图 7， A 为初始仿真模型的电容对电压特性曲线中影响电容对电压斜率的参数；

[0058] 请继续参照图 7， B 为影响初始仿真模型所对应的 MOS 可变电容积累区的电容幅度的参数， E 为影响初始仿真模型所对应的 MOS 可变电容中反型区的电容幅度的参数；

[0059] 图 7 中，点为实测数据，连接点形成的实线为仿真结果形成的曲线，而虚线是同时调整 A 、 B 、 E 后，仿真结果形成的曲线发生变化后所形成的曲线。

[0060] 请参照图 8， C 为初始仿真模型的电容对电压特性曲线中用于调整在电压趋于 0V 时电容沿着电压轴方向作调整但不影响其它区域的电容的参数，图中，点为实测数据，连接点形成的实线为仿真结果形成的曲线，而虚线是调整 C 后，仿真结果形成的曲线发生变化所形成的曲线；

[0061] 请参照图 9， F 为初始仿真模型的电容对电压特性曲线中用于调整电容沿着电压轴方向作调整而不影响其它区域的电容的参数，点为实测数据，连接点形成的实线为仿真结果形成的曲线，而虚线是调整 F 后，仿真结果形成的曲线发生变化所形成的曲线；

[0062] 请参照图 10， D 、 G 、 H 、 I 、 J 、 K 分别为初始仿真模型的电容对电压特性曲线中影响电容在电容轴所在的方向上移动的第一参数、第二参数、第三参数、第四参数、第五参数、第六

参数,点为实测数据,连接点组成的实线为仿真结果形成的曲线,而虚线是同时调整 D、G、H、I、J、K 后,仿真结果形成的变化所形成的曲线。

[0063] 参数 A ~ K 在各自所在的领域内的影响并无规律可循,需通过不断地调整尝试,得到最佳取值。

[0064] 较佳地,参数 A ~ K 可在以下范围内调整:

[0065] 表 1

[0066]

参数调整范围	最小值	最大值
A	-1	1
B	-10	10
C	-1	1
D	-1	1
E	-5	5
F	-1	1
G	-5	5
H	-1	1
I	-1	1
J	-1	1
K	-1	1

[0067] 经过大量调试工作后,得到对于 NMOS 结构,参数 A ~ K 的最佳取值,具体如下:

[0068] A = 0.19529

[0069] B = 5.1796

[0070] C = 0.59459

[0071] D = 0.39019

[0072] E = 1.4505

[0073] F = 0.41643

[0074] G = 1.5517

[0075] H = 0.012181

[0076] I = 0.0082008

[0077] J = -0.2858

[0078] K = 0

[0079] 则将上述参数 A ~ K 的最佳取值代入模型公式中,得到 NMOS 结构可变电容的最终

仿真模型,然后利用此最终仿真模型进行仿真模拟。

[0080] 而对于 PMOS 结构,参数 A ~ K 的最佳取值,具体如下:

[0081] A = 0.19522

[0082] B = 4.1007

[0083] C = 0.0024087

[0084] D = 0.38481

[0085] E = 1.4094

[0086] F = 0.44704

[0087] G = 2.0355

[0088] H = 0.0086875

[0089] I = 2.3648×10^5

[0090] J = -0.24487

[0091] K = 1.4692×10^{16}

[0092] 则将上述参数 A ~ K 的最佳取值代入模型公式中,得到 PMOS 结构可变电容的最终仿真模型,然后利用此最终仿真模型进行仿真模拟。

[0093] 对于其它结构,可将参数 A ~ K 在表 1 所显示的数值范围中选取任意值试验,直到得到参数 A ~ K 的最佳取值。

[0094] lr、wr、mr、nf 分别代表初始仿真模型以及最终仿真模型所对应的 MOS 可变电容的栅极 1 沟道的长度、宽度、个数以及栅极 1 的个数。

[0095] 本发明提供的建立仿真模型的方法所建立的 MOS 可变电容的仿真模型既可以为 PMOS 可变电容也可以是 NMOS 可变电容。

[0096] 请参照图 11 和图 12,初始仿真模型以及最终仿真模型的物理结构为在衬底 5 上方具有一层阱区 4,在所述阱区 4 上方具有栅极 1,阱区 4 内未被栅极 1 覆盖之处分别为源区 2 和漏区 3,源区 2 和漏区 3 分别排列在栅极 1 两侧。

[0097] 实际测量本发明提供的仿真模型的所对应的 MOS 可变电容时,条件皆与背景技术中 MOS 可变电容的测试条件相同,即在漏极、源极皆接地的条件下,在栅极 1 上加载电压所测量得到,即保证衬底和源区之间的电压为 0V、漏区和源区之间的电压为 0V,加载电压的范围为 [-1.5V, 1.5V],横坐标为栅极和源区之间的电压变化,纵坐标为栅极上测得的电容。

[0098] 使用面积为 $54 \mu m \times 54 \mu m$ NMOS 可变电容结构 SPICE 模型进行仿真计算,在加载与图 1 和图 2 同等电压的条件下,测量条件也相同的情况下,将实际测量得到的电容,与仿真计算得到的电容比较,得到了图 5 与图 6,其中由点组成的实线为实际测量得到的电容数据,虚线为使用模型公式计算得到的电容数据,也即仿真计算结果,将其与图 1 和图 2 相比较,可以看出,本发明提供的面积为 $54 \mu m \times 54 \mu m$ MOS 可变电容结构 SPICE 模型的电容 - 电压特性曲线,其仿真计算结果与实际测量得到的电容数据完全匹配,精确度大大提高,且在图 6 中二阶导数的跳变相比于图 2 也大大减少,这是因为本发明提供的仿真模型的建立方法是从数学分析的角度出发,对仿真模型的公式进行参数调整,使得仿真模型的公式优化,直至得到的最终仿真模型所对应的二阶导数跳变减少。

[0099] 此外,还可以扩大加载电压的范围,如电压范围在 [-3.3V, 3.3V] 之间,也可以利用本发明提供的仿真模型建立方法和仿真方法进行操作。

[0100] 实施例二

[0101] 本实施例与实施例一的区别在于,使用面积为 $9 \mu m \times 9 \mu m$ NMOS 可变电容结构 SPICE 模型进行仿真计算,在加载与图 3 和图 4 同等电压的条件下,将实际测量得到的电容,与使用仿真模型公式计算得到的电容比较,其中参数 A ~ K 的最佳取值与实施例一相同,得到了图 13 与图 14,其中点为实际测量得到的电容数据,由点连成的实线为使用模型公式计算得到的电容数据,将其与图 3 和图 4 相比较,可以看出,本发明提供的面积为 $9 \mu m \times 9 \mu m$ MOS 可变电容结构 SPICE 模型的电容 - 电压特性曲线,其仿真计算得到的结果与实际测量得到的电容数据相匹配,精确度大大提高,且在图 14 中二阶导数的跳变相比于图 4 也大大减少。

[0102] 显然,本领域的技术人员可以对发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包括这些改动和变型在内。

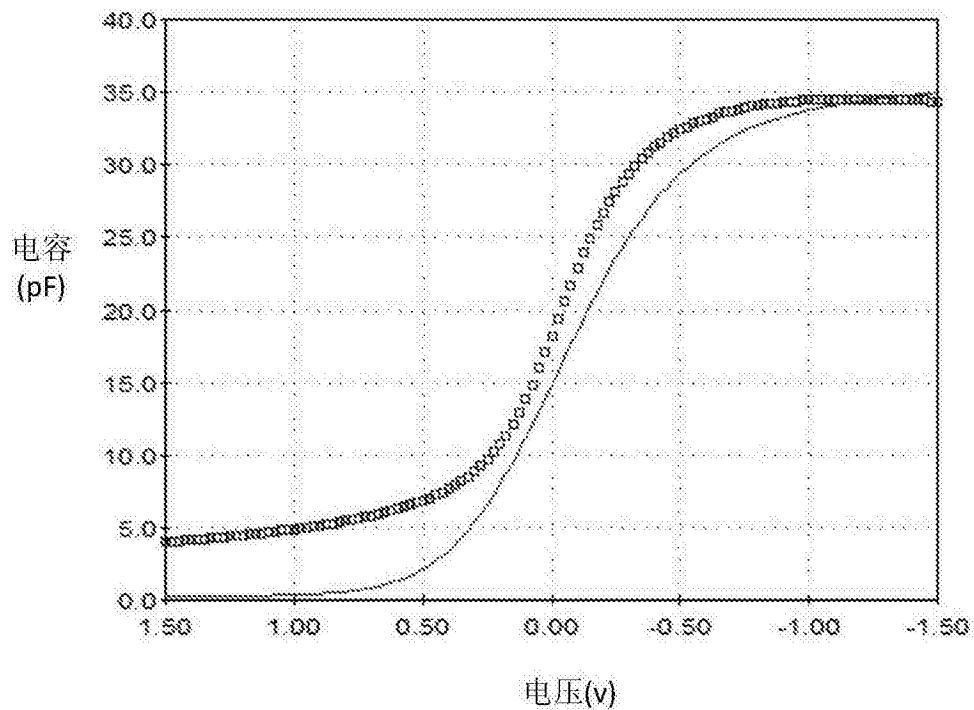


图 1

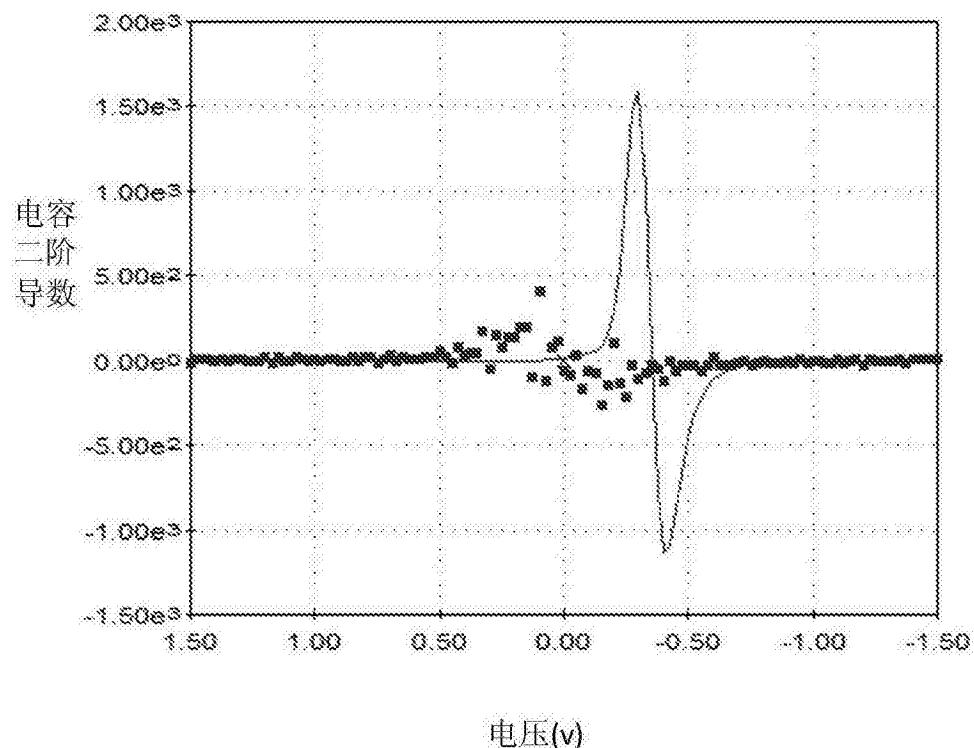


图 2

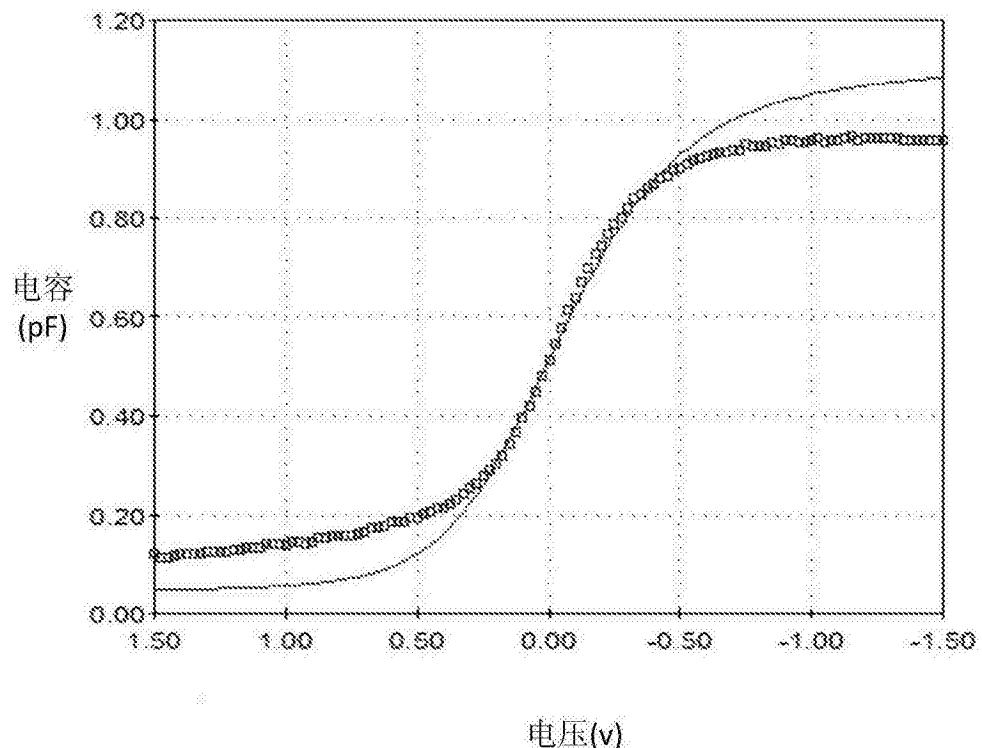


图 3

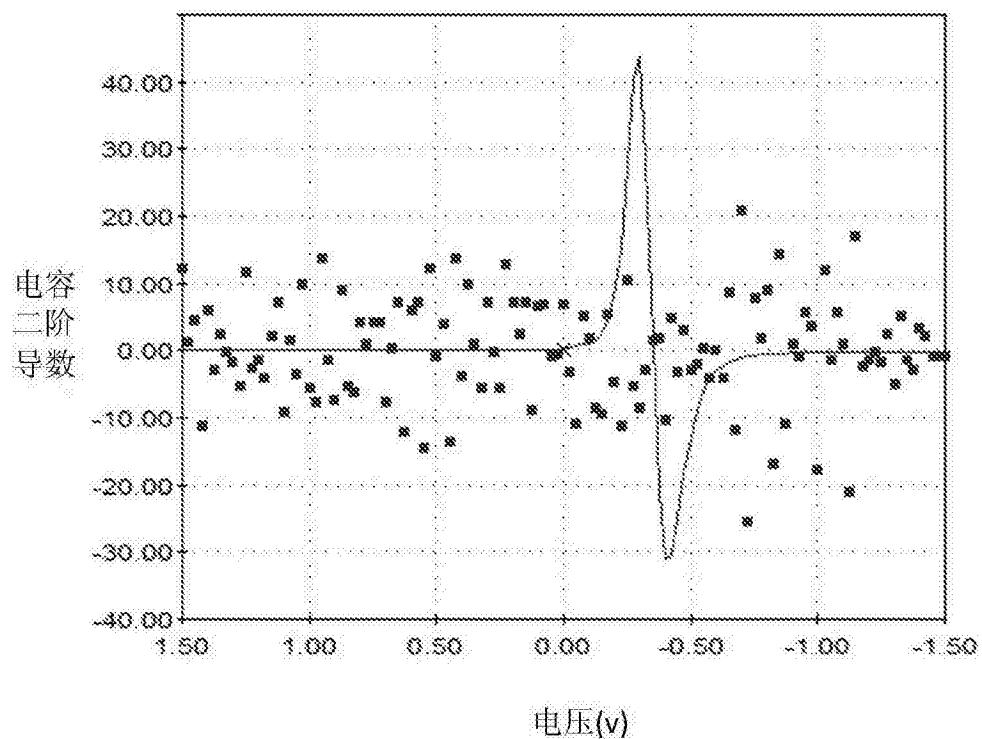


图 4

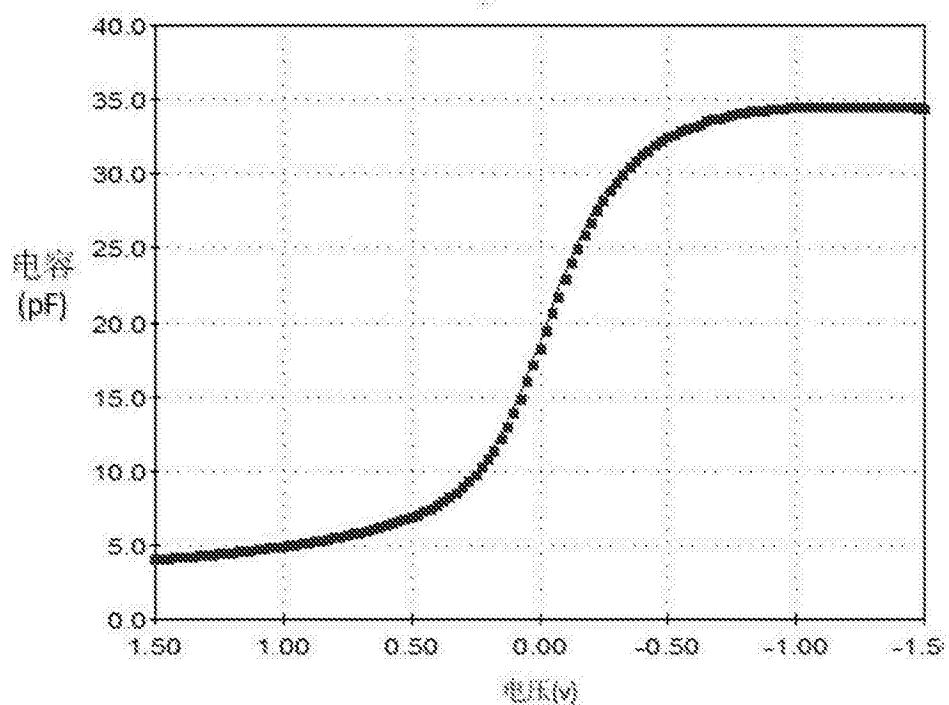


图 5

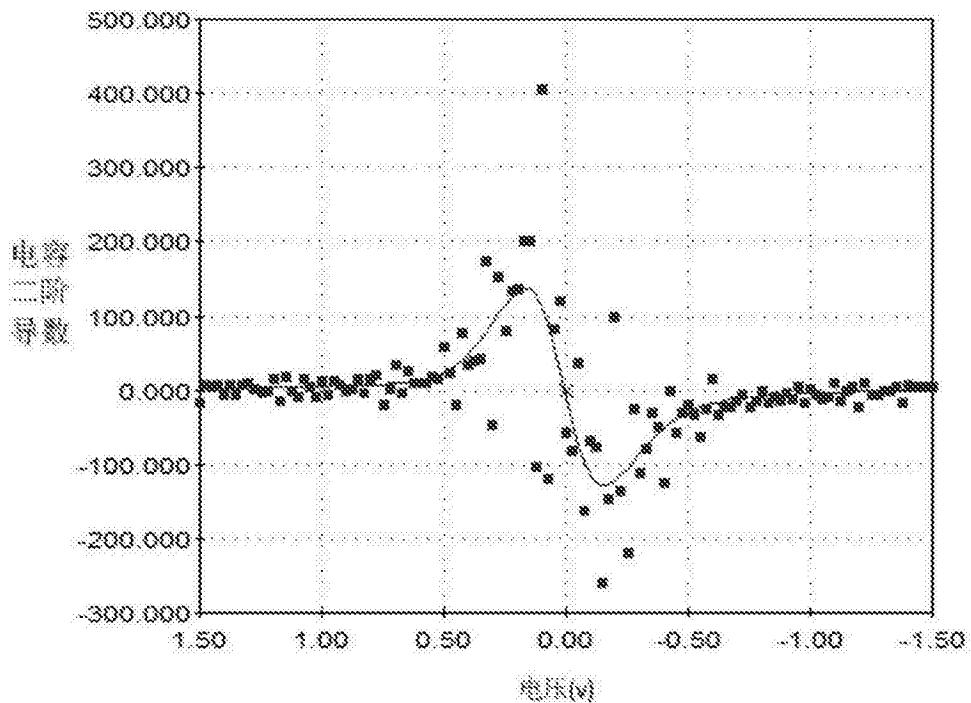


图 6

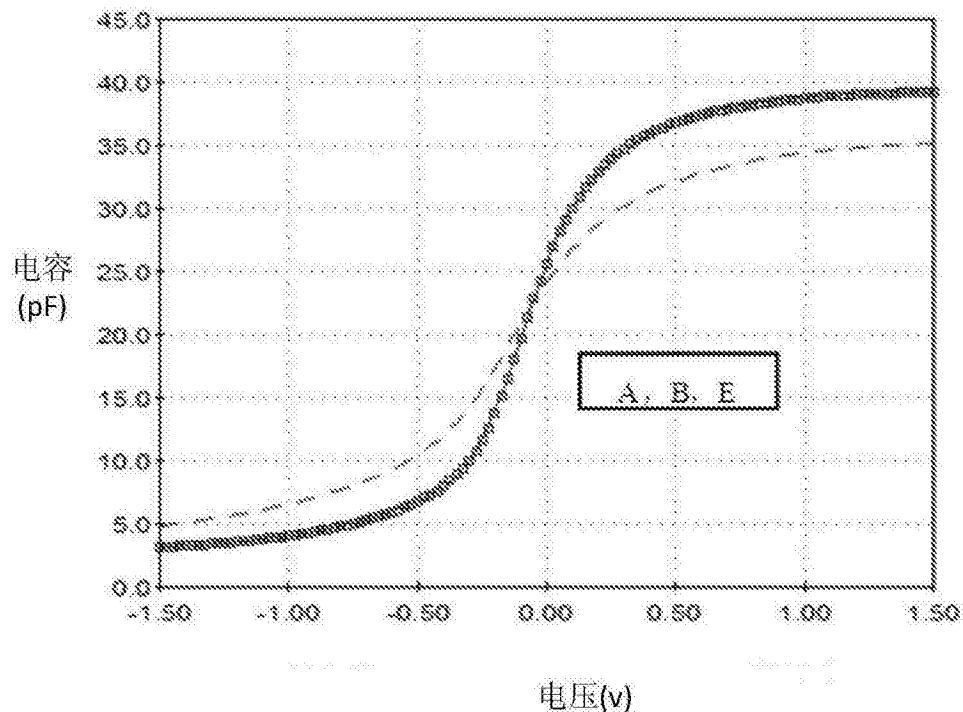


图 7

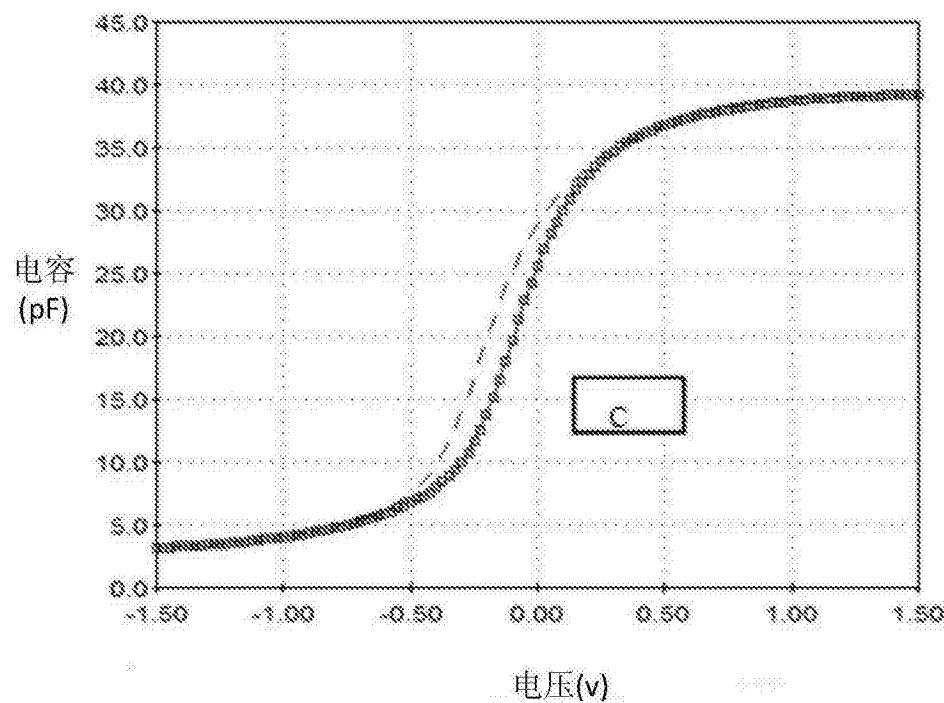


图 8

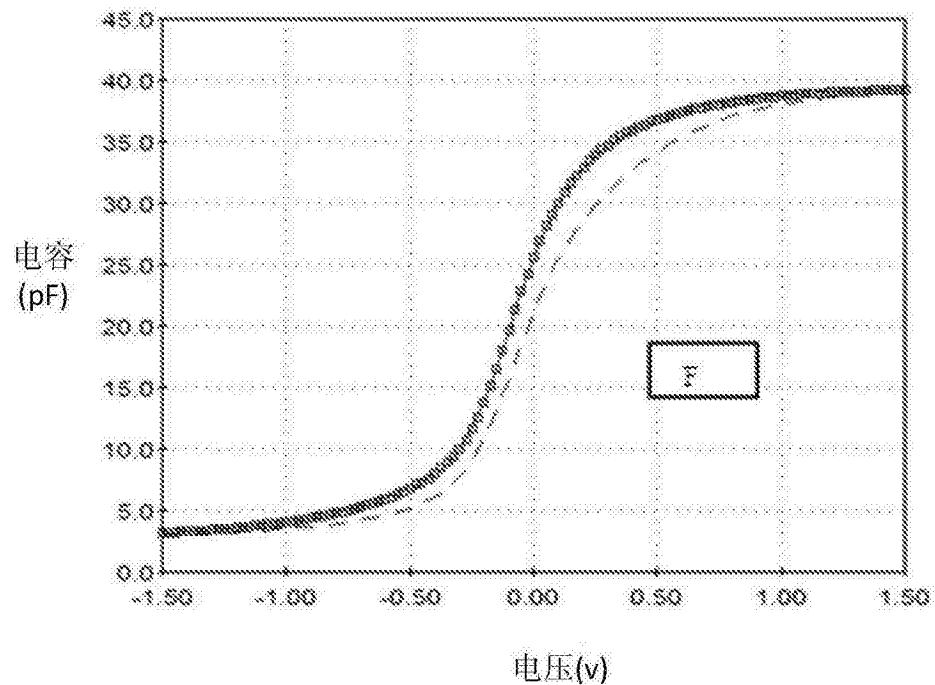


图 9

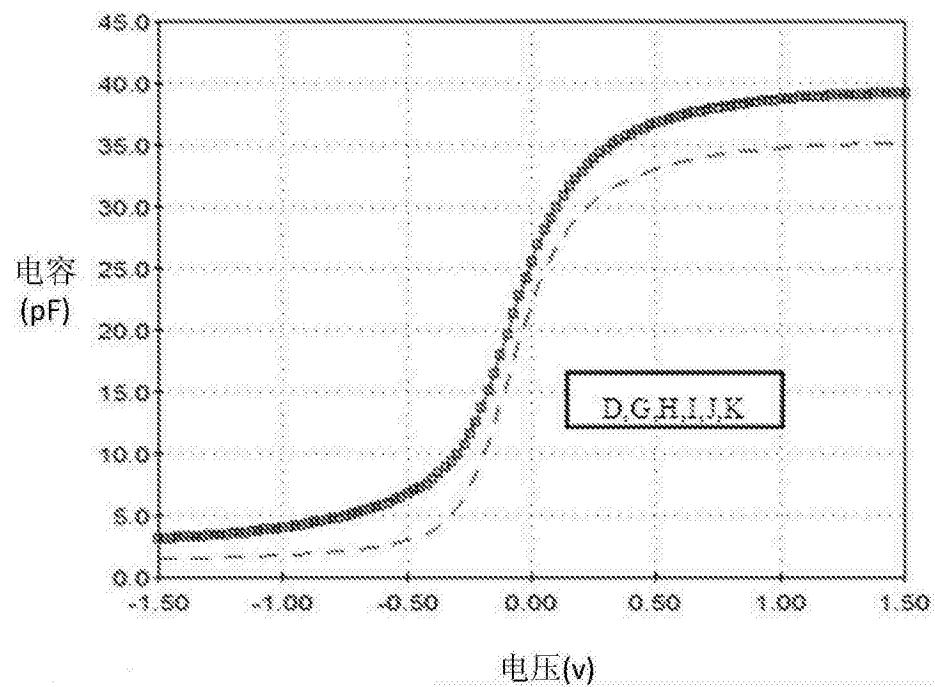


图 10

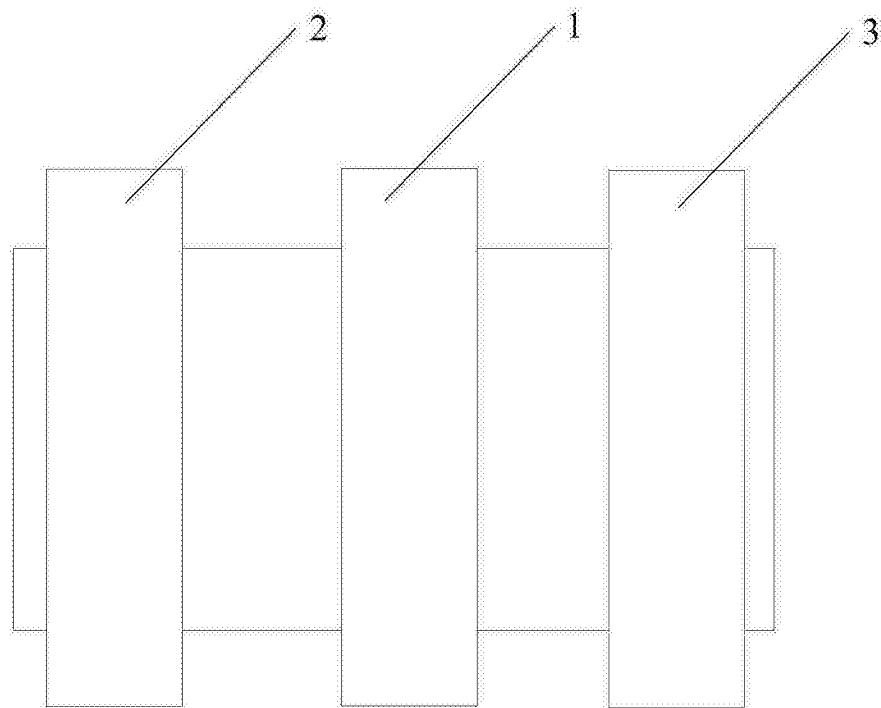


图 11

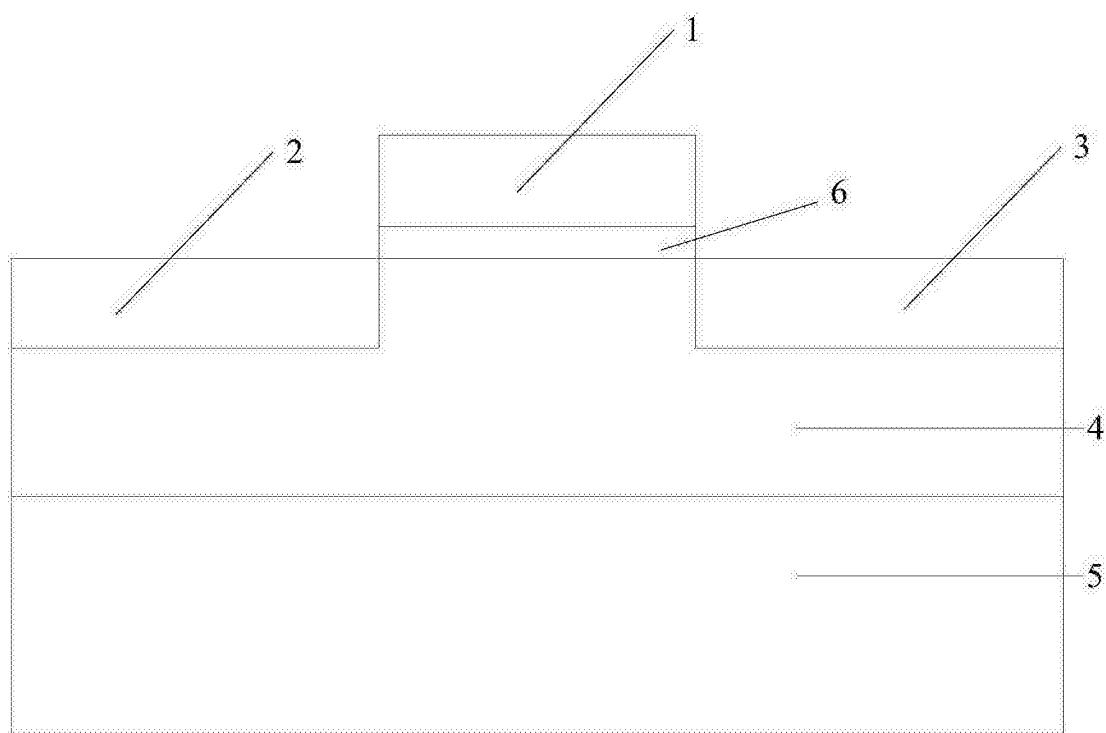


图 12

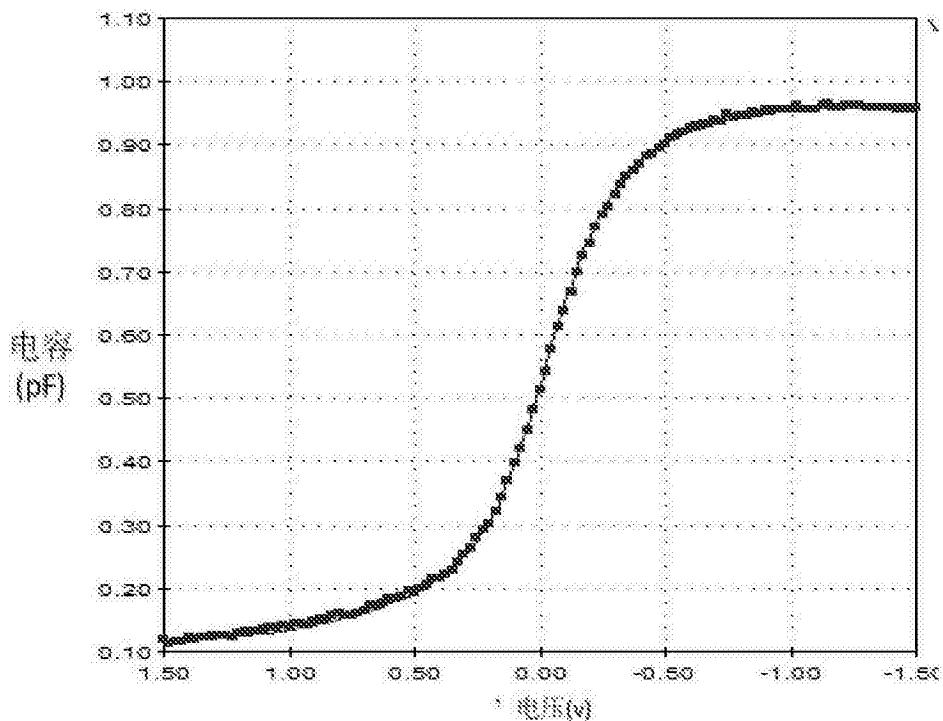


图 13

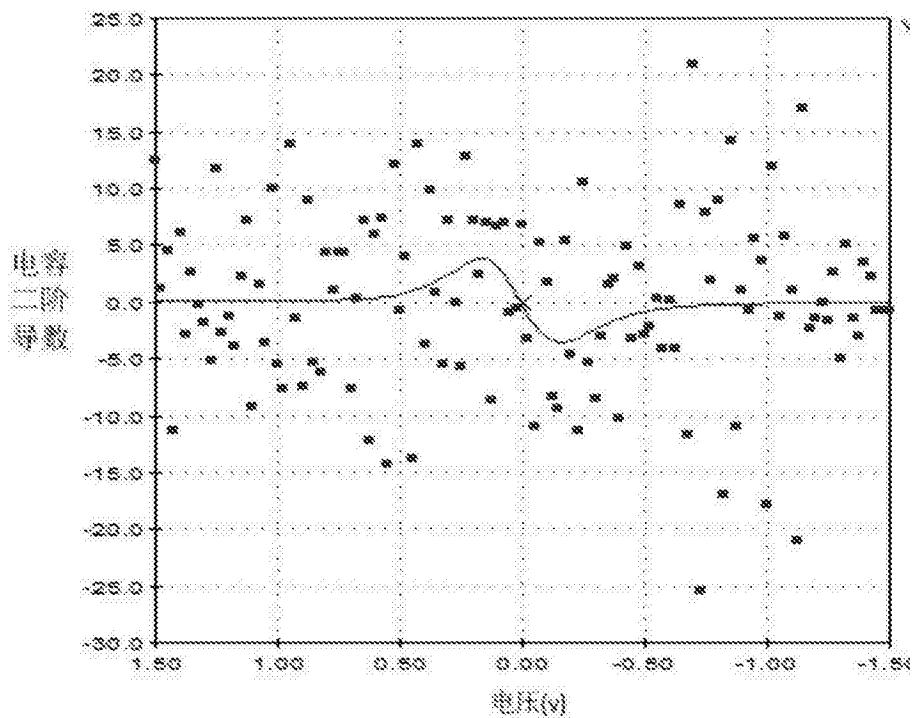


图 14

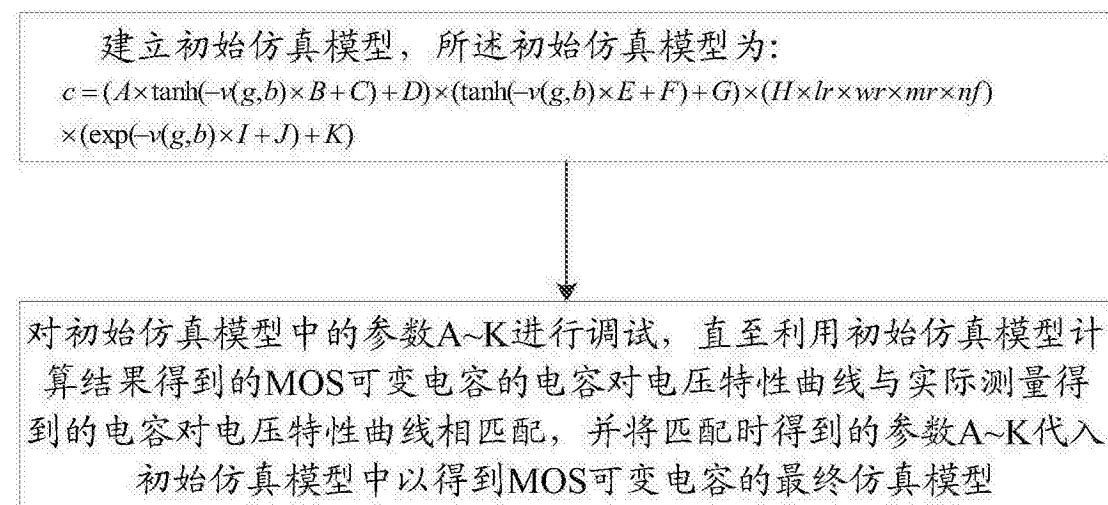


图 15