



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102591999 B

(45) 授权公告日 2014. 10. 29

(21) 申请号 201110005923. 2

CN 100394418 C, 2008. 06. 11,

(22) 申请日 2011. 01. 12

审查员 胡百乐

(73) 专利权人 中国科学院微电子研究所

地址 100029 北京市朝阳区北土城西路 3 号

(72) 发明人 梁擎擎 朱慧珑 钟汇才 李萌

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 倪斌

(51) Int. Cl.

G06F 17/50 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 5774696 A, 1998. 06. 30,

US 6904384 B2, 2005. 06. 07,

CN 1924870 A, 2007. 03. 07,

TW 201003442 A1, 2010. 01. 16,

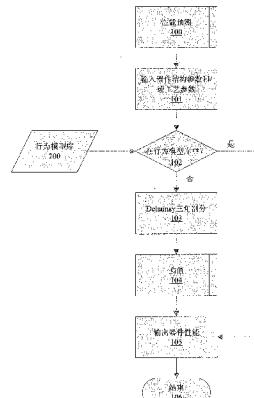
权利要求书1页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

器件性能预测方法及器件结构优化方法

(57) 摘要

本申请公开了一种器件性能预测方法及器件结构优化方法。根据本发明的实施例，半导体器件的结构参数和 / 或工艺参数集构成参数空间中的参数点，并且针对参数空间中多个离散的预定参数点建立了行为模型库，行为模型库将预定参数点与相应的器件性能指标值相关联。该器件性能预测方法包括：输入待预测其相应性能指标值的参数点，即预测点；以及如果在行为模型库中存在预测点的对应项，则输出相应性能指标值作为该预测点的预测性能指标值；以及如果行为模型库中不存在预测点的对应项，则通过根据 Delaunay 三角剖分进行插值计算，来得到预测点的预测性能指标值。



1. 一种半导体器件的性能预测方法,其中半导体器件的结构参数和 / 或工艺参数集构成参数空间中的参数点,并且针对参数空间中多个离散的预定参数点建立了行为模型库,所述行为模型库将所述预定参数点与相应的器件性能指标值相关联,该方法包括:

输入待预测其相应性能指标值的参数点,即预测点;以及
在行为模型库中搜索该预测点,

如果预测点对应于行为模型库中的某一预定参数点,则输出与该预定参数点相关联的性能指标值作为该预测点的预测性能指标值;以及

如果行为模型库中不存在与预测点相对应的预定参数点,则对行为模型库中的预定参数点进行 Delaunay 三角剖分,得到 Delaunay 剖分单元,通过根据预测点所处的 Delaunay 剖分单元的各项点处的参数点来进行插值计算,得到预测点的预测性能指标值,其中,如果预测点并不位于任何一个 Delaunay 剖分单元之内,则对参数空间进行空间变换,使得预测点位于变换之后的空间中新的 Delaunay 剖分单元之内,其中,所述空间变换包括:

将参数空间从欧几里得坐标变换为超球面坐标;
将超球面坐标中的半径反转;以及
将超球面坐标变换回到欧几里得坐标。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,在二维参数空间中,Delaunay 剖分单元为三角形;在三维参数空间中,Delaunay 剖分单元为四面体。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述结构参数和 / 或工艺参数集包括栅长、阈值电压、寄生电阻和 / 或栅介质厚度。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,行为模型库根据器件仿真或实际测试而建立。
5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述性能指标包括半导体器件的电学特性。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述半导体器件包括静态随机存取存储器,所述性能指标包括良品率。

7. 一种半导体器件的结构优化方法,包括:

确定针对半导体器件的多个结构参数和 / 或工艺参数集;

针对所述多个结构参数和 / 或工艺参数集中每一结构参数和 / 或工艺参数集,根据权利要求 1 ~ 6 中任一项所述的方法,预测与该结构参数和 / 或工艺参数集相对应的性能指标值;

根据所述多个结构参数和 / 或工艺参数集各自的相应性能指标值中最佳的性能指标值,确定与该最佳的性能指标值相对应的结构参数和 / 或工艺参数集;以及

根据所确定的结构参数和 / 或工艺参数集,设定该半导体器件的最终物理结构。

器件性能预测方法及器件结构优化方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体器件领域,更具体地,涉及一种半导体器件的性能预测方法以及半导体器件的结构优化方法。

背景技术

[0002] 对于半导体器件而言,众多的结构参数和 / 或工艺参数均会影响其工作性能。然而,实际上难以建立这些参数与器件性能之间的解析函数关系。因此,在设计半导体器件时,针对特定的设计参数,难以预先获知根据这种设计而制造出的半导体器件的性能,并因此难以有效地判定设计的优劣。

[0003] 有鉴于此,需要提供一种新颖的方法来对半导体器件的性能进行预测或者对半导体器件的设计进行优化,以便能够得到可以实现最佳器件性能的优化设计。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种半导体器件的性能预测方法以及半导体器件的结构优化方法。

[0005] 根据本发明的一个方面,提供了一种半导体器件的性能预测方法,其中半导体器件的结构参数和 / 或工艺参数集构成参数空间中的参数点,并且针对参数空间中多个离散的预定参数点建立了行为模型库,所述行为模型库将所述预定参数点与相应的器件性能指标值相关联,该方法包括:输入待预测其相应性能指标值的参数点,即预测点;以及在行为模型库中搜索该预测点,如果预测点对应于行为模型库中的某一预定参数点,则输出与该预定参数点相关联的性能指标值作为该预测点的预测性能指标值;以及如果行为模型库中不存在与预测点相对应的预定参数点,则对行为模型库中的预定参数点进行 Delaunay 三角剖分,并根据 Delaunay 三角剖分结果,通过插值计算得到预测点的预测性能指标值。

[0006] 优选地,通过 Delaunay 三角剖分得到 Delaunay 剖分单元,以及根据预测点所处的 Delaunay 剖分单元的各顶点处的参数点来进行插值计算。其中,在二维参数空间中,Delaunay 剖分单元为三角形;在三维参数空间中,Delaunay 剖分单元为四面体。

[0007] 优选地,如果预测点并不位于任何一个 Delaunay 剖分单元之内,则对参数空间进行空间变换,使得预测点位于变换之后的空间中新的 Delaunay 剖分单元之内。其中,空间变换可以包括:将参数空间从欧几里得坐标变换为超球面坐标;将超球面坐标中的半径反转;以及将超球面坐标变换回到欧几里得坐标。

[0008] 优选地,结构参数和 / 或工艺参数集包括栅长、阈值电压、寄生电阻和 / 或栅介质厚度。

[0009] 优选地,行为模型库根据器件仿真或实际测试而建立。

[0010] 优选地,性能指标包括半导体器件的电学特性。

[0011] 优选地,半导体器件包括静态随机存取存储器,所述性能指标包括良品率。

[0012] 根据本发明的另一方面,提供了一种半导体器件的结构优化方法,包括:确定针对

半导体器件的多个结构参数和 / 或工艺参数集 ; 针对所述多个结构参数和 / 或工艺参数集中每一结构参数和 / 或工艺参数集, 根据上述方法, 预测与该结构参数和 / 或工艺参数集相对应的性能指标值 ; 根据所述多个结构参数和 / 或工艺参数集各自的相应性能指标值中最佳的性能指标值, 确定与该最佳的性能指标值相对应的结构参数和 / 或工艺参数集 ; 以及根据所确定的结构参数和 / 或工艺参数集, 设定该半导体器件的最终物理结构。

[0013] 根据本发明的实施例, 利用建立的行为模型库, 可以有效地对半导体器件这样的多变量 (多参数) 复杂系统进行分析, 从而可以在工艺级别上预测半导体器件的性能指标 (例如, SRAM 的良品率)。

附图说明

[0014] 通过以下参照附图对本发明实施例的描述, 本发明的上述以及其他目的、特征和优点将更为清楚, 在附图中 :

[0015] 图 1 示出了根据本发明实施例的器件性能预测方法的示意流程图 ;

[0016] 图 2 示出了根据本发明实施例的插值计算的示意流程图 ;

[0017] 图 3 示出了根据本发明实施例的器件设计优化方法的示意流程图 ;

[0018] 图 4 示出了根据本发明实施例的 Delaunay 三角剖分的示例 ;

[0019] 图 5 示出了根据本发明实施例的在预测点位于通过 Delaunay 三角剖分而得到的三角形内部的情况下进行插值计算的示例 ;

[0020] 图 6 示出了根据本发明实施例的预测点位于通过 Delaunay 三角剖分而得到的三角形外部的示例 ;

[0021] 图 7 示出了根据本发明实施例的空间变换的示例 ;

[0022] 图 8 示出了图 7 中一部分的放大图, 其中示出了在空间变换之后进行插值计算的示例 ;

[0023] 图 9 示出了根据本发明实施例的在预测点位于通过 Delaunay 三角剖分而得到的三角形外部的情况下用于插值计算的点的选择示例 ;

[0024] 图 10 示出了根据本发明实施例的 Schmoo 仿真示例 ; 以及

[0025] 图 11 示出了根据本发明实施例的对 SRAM 进行设计优化的示例。

具体实施方式

[0026] 以下, 通过附图中示出的具体实施例来描述本发明。但是应该理解, 这些描述只是示例性的, 而并非要限制本发明的范围。此外, 在以下说明中, 省略了对公知结构和技术的描述, 以避免不必要的混淆本发明的概念。

[0027] 图 1 示出了根据本发明实施例的器件性能预测方法的示意流程图。

[0028] 如图 1 所示, 根据该实施例的器件性能预测方法 100 从步骤 101 开始, 在该步骤中, 输入器件的结构参数和 / 或工艺参数集。这种参数集例如是设计时选定的参数集, 可以包括栅长、阈值电压、寄生电阻和 / 或栅介质厚度等会对最终得到的半导体器件的性能造成影响的各种结构 / 工艺参数中的一个或多个。

[0029] 接着, 在步骤 102 中, 判定所输入的结构参数和 / 或工艺参数集是否处于半导体器件的行为模型库中。在此, 所谓的“行为模型库”是指将半导体器件的结构参数和 / 或工艺

参数集与其相应的器件性能指标值相关联的装置。这种装置例如可以通过查找表的形式来实现。

[0030] 在此,所述“性能指标”可以包括各种可以表征器件性能优劣的器件电学特性,例如电流和 / 或电压特性等。所述性能指标例如可以仅包括单一物理参数,从而“性能指标值”例如可以表示该单一物理参数的实际数值。或者,所述性能指标可以包括多于一个的物理参数,并且“性能指标值”例如可表示这些物理参数的加权和。可选地,可以对“性能指标”所包含的每一物理参数进行“评分”。例如,对于实现最佳性能的物理参数值,将其评分为 100%;而对实现稍差性能的物理参数值,则将其评分为低于 100%。因此,“性能指标值”可以通过将各物理参数的评分值求和来得到。

[0031] 这种行为模型库例如可以如下建立。通过对具有特定参数集(例如,具有特定的栅长、阈值电压、栅介质厚度等)的实际半导体器件测试其相应性能指标值,而得到特定参数集 - 性能指标值之间的关联。或者,可以通过针对特定参数集(例如,在特定的栅长、阈值电压、栅介质厚度等条件下),对半导体器件进行仿真,而得到特定参数集 - 性能指标值之间的关联。然后,将这种特定参数集 - 性能指标值之间的关联存储(例如,存储为“查找表”的形式),得到行为模型库。

[0032] 在此,可以将这种“参数集”可以视为参数空间中的离散“(参数)点”(参数空间可以是多维空间,构成参数集的各结构参数和 / 或工艺参数例如栅长、阈值电压、栅介质厚度等分别构成其中的一维),而“性能指标值”则可以视为该离散“(参数)点”所对应的函数值。

[0033] 例如,可以针对预定间隔的参数(例如,预定间隔的栅长、预定间隔的阈值电压、预定间隔的栅介质厚度等),即,针对参数空间中预定间隔的点,来建立覆盖一定参数范围(即,覆盖参数空间中的一定体积)的行为模型库。例如,参数的间隔可以是恒定的。所述“参数范围”例如可以是针对特定制造工艺(例如,22nm 工艺)的可能参数范围。这样,针对某一制造工艺,可以得到一个公共行为模型库。因而,在该种制造工艺下的器件设计,均可以利用该公共的行为模型库来进行性能预测和设计优化。

[0034] 如果在步骤 102 中判断结果为“是”,即,输入的结构参数和 / 或工艺参数集在行为模型库中存在对应项,则从行为模型库中检索得到与输入的结构参数和 / 或工艺参数集相关联的器件性能指标值。因此,方法直接跳到步骤 105,其中输出相应器件性能指标值。

[0035] 如果在步骤 102 中判断结果为“否”,即,输入的结构参数和 / 或工艺参数集在行为模型库中不存在对应项,则此时可以通过插值计算来得到相应的器件性能指标值。本发明的一个重要特征在于,利用 Delaunay 三角剖分(triangulation)方法,来从模型库中选择用于插值计算的参数点。具体地,对行为模型库中的参数点进行 Delaunay 三角剖分,并选择位于 Delaunay 某一部分单元(二维空间中的三角形,三维空间的四面体等)的顶点处的参数点来进行插值计算。

[0036] 具体地,在步骤 103 中,对参数空间中已测得的参数点(即,行为模型库中的参数点)进行 Delaunay 三角剖分。Delaunay 剖分本身对于本领域技术人员来说是公知的,此方法可以将多维空间以测定参数点为顶点划分成若干离散单元,在此不再详细描述。

[0037] 然后,在步骤 104 中,根据 Delaunay 三角剖分的结果,来进行插值计算。关于该插值计算,以下将参照图 2 进一步详细描述。

[0038] 通过步骤 104 中的插值计算,可以得到与输入的结构参数和 / 或工艺参数集(参数点)相对应的器件性能指标值。因此,在步骤 105 中,可以输出所得到的器件性能指标值。

[0039] 这样,针对输入的结构参数和 / 或工艺参数集(参数空间中的一个参数点,以下也称作“预测点”),得到了与之相对应的器件性能(所述预测点处的函数值)。也即,实现了针对该参数点的性能预测或者评估。随后,本方法在步骤 106 处结束。

[0040] 以下,将参照附图 2,详细描述根据本发明实施例的插值计算示例。如图 2 所示,在插值计算步骤 104 中,首先在子步骤 1041 中,判断参数点是否位于参数空间中通过 Delaunay 三角剖分而得到的 Delaunay 剖分单元内部。

[0041] 如果在子步骤 1041 中的判断结果为“是”,则在步骤 1042 中,可以直接利用该预测点所处的 Delaunay 剖分单元的顶点(例如,在二维参数空间的情况下,为三角形剖分单元的三个顶点;在三维参数空间的情况下,为四面体剖分单元的四个顶点;以此类推)处的参数点,来对该预测点进行插值计算,例如可以是线性插值。

[0042] 如果在子步骤 1041 中的判断结果为“否”,则在步骤 1043 中,可以进行空间变换,以便使得预测点能够在空间变换之后位于变换后空间中的新 Delaunay 剖分单元之内。这种空间变换例如将参数空间从欧几里得坐标变换为超球面坐标或其他空间坐标系,对变换后的超球面坐标或其他空间坐标中的半径进行反转,然后再变换回到欧几里得坐标。

[0043] 这样,在步骤 1043 中进行空间变化之后,可以在步骤 1042 中利用变换后空间中预测点所处的 Delaunay 剖分单元的顶点处的参数点来进行插值计算。

[0044] 这样,最终得到了预测点处的插值函数值(即,性能指标值)。随后,插值计算步骤在 1044 处结束。

[0045] 以下,将结合一具体示例,来对上述器件性能预测方法予以说明,以便本领域技术人员能够更好地理解本发明。

[0046] 在以下的描述中,为了描述的方便和图示的简洁,假设参数集包括两个参数,即参数空间为二维空间。在此,这两个参数例如可以是栅源间电压(V_{gs})和漏源间电压(V_{ds})。应当指出,本发明不限于此;事实上,参数空间的维数可以多于二维,或者仅为一维,此外参数也不限于栅源间电压(V_{gs})和漏源间电压(V_{ds})。

[0047] 针对一定体积的参数空间(在二维的情况下,针对一定“面积”的参数空间),建立行为模型库。在附图 4 中示出了这样一个行为模型库中的参数点。如图 4 所示,各参数点(X_1, X_2)(其中,例如 X_1 表示 V_{gs} , X_2 表示 V_{ds})具有一个相应的函数值(性能指标值,例如栅、源、漏极电流等)。在图 4 中,仅示出了参数点(X_1, X_2)(图中各三角形的顶点),而并未示出其关联的函数值。在此示出了参数点(X_1, X_2)在 X_1 方向以及 X_2 方向上均是均匀间隔的。尽管这种均匀间隔有利于计算,但是本发明并不局限于此。

[0048] 在图 4 中,还示出了对行为模型库中的这些参数点(X_1, X_2)进行 Delaunay 三角剖分的结果。具体地,图 4 中所示出的这些三角形均为通过 Delaunay 三角剖分而得到的三角形 Delaunay 剖分单元。

[0049] 图 5 示出了图 4 所示行为模型库的一部分。在图 5 中,还示出了要预测其相应函数值的参数点(即“预测点”),以实心三角标记来表示该预测点。可以看出,该预测点位于一个 Delaunay 三角形内部。根据本发明的实施例,当预测点位于 Delaunay 三角形内部时,可以根据该 Delaunay 三角形的三个顶点处的参数点所对应的函数值,来插值计算预测点

处的函数值。这种插值例如是线性插值。

[0050] 如果预测点位于 Delaunay 三角形外部, 参见图 6 所示的实心三角标记, 那么此时需要对参数空间 (参数点 (X1, X2) 所在的空间) 进行变换, 以使得该预测点在变换之后能够位于变换后新的 Delaunay 三角形之内, 从而可以选择用于插值计算的参数点。

[0051] 在图 7 中示出了一个空间变换的示例。在该示例中, 将参数空间从欧几里得坐标变换为超球面坐标 (在二维的情况下为极坐标, 在三维的情况下为球坐标)。在超球面坐标中, 将各点的半径 (非负实数) 反转 (即, 取倒数)。随后, 再从超球面坐标转换回到欧几里得坐标。图 7 中示出了对图 6 所示的行为模型库中包含的参数点以及预测点进行上述处理之后得到的结果。

[0052] 图 8 中示出了图 7 中处于预测点附近的一部分的放大图。从图 8 可以清楚看出, 经过上述处理之后, 预测点 (实心三角标记所示) 已经位于了一个新的 Delaunay 三角形之内。这样, 可以利用该三角形的三个顶点处的参数点所对应的函数值, 来对预测点处的函数值进行插值计算, 例如线性插值。在图 9 中示出了选择用来进行插值计算的三个参数点在变换之前的参数空间中实际所处的位置。

[0053] 以上描述了如何根据行为模型库中的参数点, 来对预测点的函数值进行插值计算的示例。根据本发明的另一实施例, 上述器件性能预测方法还可以用来对半导体器件设计进行优化。

[0054] 图 3 示出了根据本发明实施例的器件结构优化方法的示意流程图。

[0055] 如图 3 所示, 在步骤 301 中, 设计人员首先确定结构设计方案, 例如包括多个可供选择的结构参数和 / 或工艺参数集 (即, 多个设计 “参数点”, 或者多个 “预测点”)。

[0056] 然后, 在步骤 302 中, 从所确定的多个预测点中选择一个预测点, 来进行性能预测。具体地, 例如通过上述的性能预测流程 100 来对预测点处的函数值 (即, 性能指标值) 进行预测。在此, 不再详细描述该性能预测流程的具体步骤, 可以参照以上的描述。

[0057] 通过性能预测流程 100 得到一个预测点处的性能指标值之后, 在步骤 303 判断是否还存在其他预测点。如果判断结果为 “是”, 即, 还存在其他预测点, 那么该方法返回步骤 302, 针对下一预测点继续进行性能预测。如果判断结果为 “否”, 即, 已经针对所有的预测点进行了性能预测, 那么在步骤 304 中得到针对所有预测点的相应器件性能指标值的集合。

[0058] 根据该器件性能指标值集合, 可以得到最佳设计。例如, 从该器件性能集合中搜索与最佳性能指标值相对应的预测点, 选择该预测点所对应的参数作为最终设计参数, 则得到了最佳器件设计方案。随后, 该方法在 305 处结束。

[0059] 根据这种最佳设计方案来制造半导体器件, 则可以得到结构被优化了的半导体器件。

[0060] 以下, 将结合静态随机存取存储器 (SRAM), 来说明本发明的应用示例。

[0061] 图 10 中示出了在 VWL (字线偏置电压)-VDD (位线偏置电压) 的参数空间中, 对 SRAM 的性能指标, 在此具体地为良品率 (yield), 进行预测而得到的 Schmoo 图。该图中的每一点对应于一个具体的参数集 (VWL, VDD) (即, 参数点), 并且以灰度表示表示该参数点处的函数值 (即, 性能指标值, 在此为良品率)。在该图的右侧示出了各种灰度对应的实际良品率 (以近似成高斯分布的 sigma 计, 例如 3sigma 对应的良率为 99.73%)。

[0062] 图 10 所示参数空间中的一些参数点 (及其相关联的性能指标值) 构成行为模型

库。也就是说，这些参数点相对应的离散性能指标值（器件的电学特性，如电流电压特性）是通过实际测试或者器件仿真而得到的。而另一些参数点（其值不等于已测试的值）则是根据本发明的上述方法，利用行为模型库而预测得到的。

[0063] 可以看出，根据图 10 中所示的 Schmoo 图，可以容易地选定实现最佳性能（最佳良品率）的参数点 (VWL, VDD)。例如，在图 10 所示的 Schmoo 图中，大约 (0.6, 0.5)（即，VWL 为 0.6V, VDD 为 0.5V) 附近的参数点可以实现最佳的良品率。

[0064] 图 11 示出了在 Lgate(栅长)-(NVth-PVth) (NFET 与 PFET 之间的阈值电压差，这是 CMOS 工艺中的一项重要参数) 参数空间中，对 SRAM 的性能指标，在此具体地为良品率 (yield)，进行预测而得到的设计优化图。该图中的每一点对应于一个具体的参数集 (Lgate, (NVth-PVth)) (即，参数点)，并且示出了各参数点处函数值（即，性能指标值，在此为良品率）的等值线。具体地，在各等值线上的参数点具有相同的函数值（即，相同的良品率）。在每一等值线处，具体标示了该等值线所代表的实际良品率（以 sigma 计）。

[0065] 图 11 所示参数空间中的一些参数点（及其相关联的性能指标值）构成行为模型库。也就是说，这些参数点相对应的性能指标值（良品率）是通过实际测试或者器件仿真而得到的。而另一些参数点（其值不等于已测试的值）则是根据本发明的上述方法，利用行为模型库而预测得到的。另外，将具有相同函数值的各参数点相连，就可以得到图中所示的等值线。

[0066] 根据图 11 的图示，可以很容易地选择最佳设计点，如图中箭头所示。根据该最佳设计点，可以制造出结构得以优化的半导体器件（例如，将栅长设置为 25nm）。

[0067] 尽管以上参照预测 SRAM 的良品率的示例描述了本发明的应用，但是本发明并不局限于此。本领域技术人员应当理解，实际上本发明可以应用于各种多端口（多变量）系统。

[0068] 在以上的描述中，对于各层的构图、刻蚀等技术细节并没有做出详细的说明。但是本领域技术人员应当理解，可以通过现有技术中的各种手段，来形成所需形状的层、区域等。另外，为了形成同一结构，本领域技术人员还可以设计出与以上描述的方法并不完全相同的方法。尽管以上分别描述了各个实施例，但是并不意味着这些实施例中的有利特征不能结合使用。

[0069] 以上参照本发明的实施例对本发明予以了说明。但是，这些实施例仅仅是为了说明的目的，而并非为了限制本发明的范围。本发明的范围由所附权利要求及其等价物限定。不脱离本发明的范围，本领域技术人员可以做出多种替代和修改，这些替代和修改都应落在本发明的范围之内。

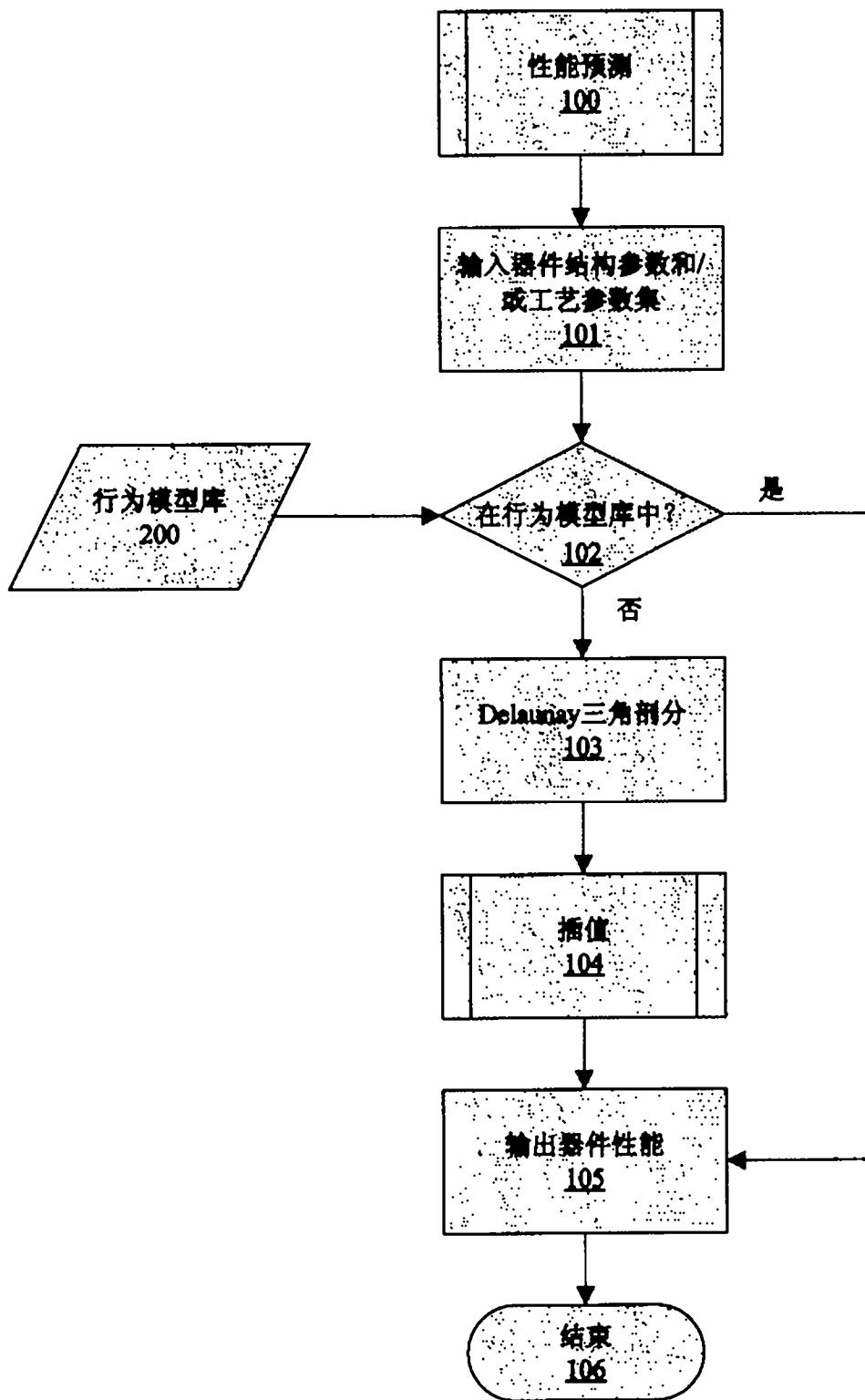
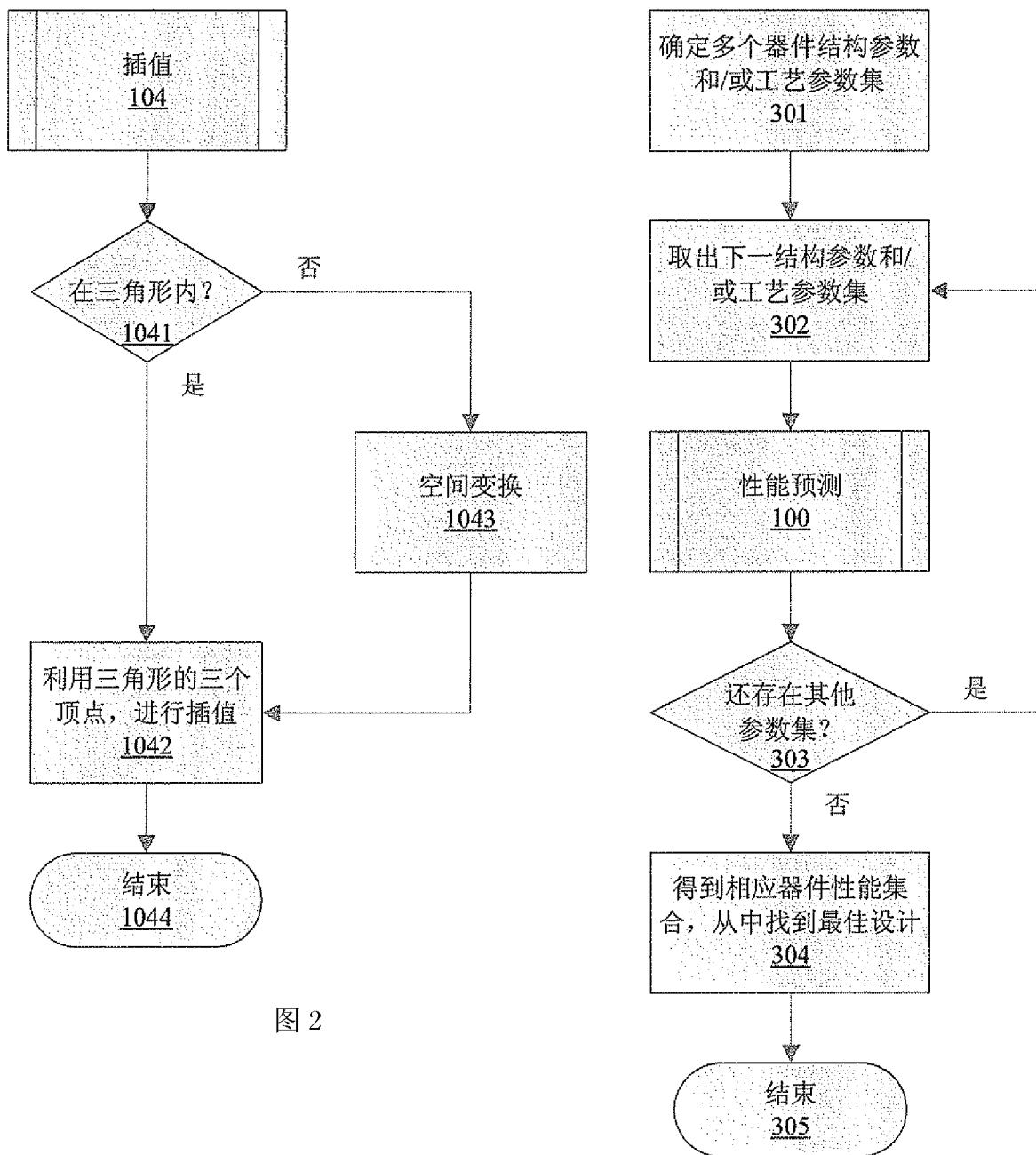


图 1



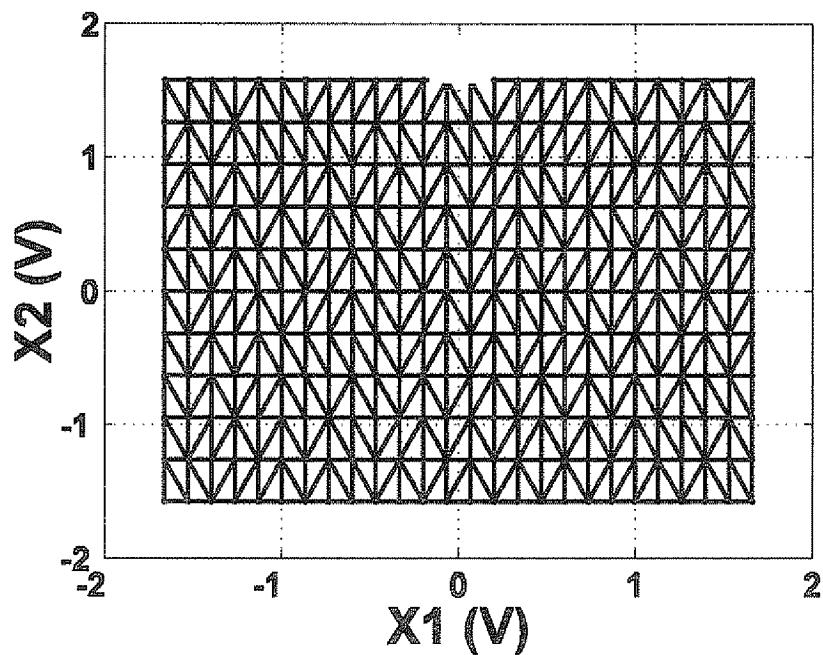


图 4

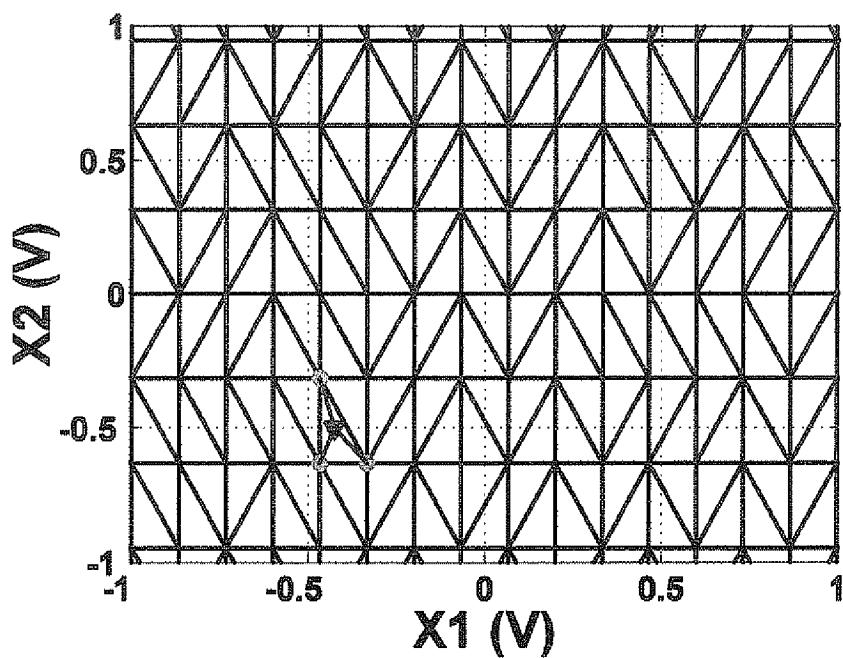


图 5

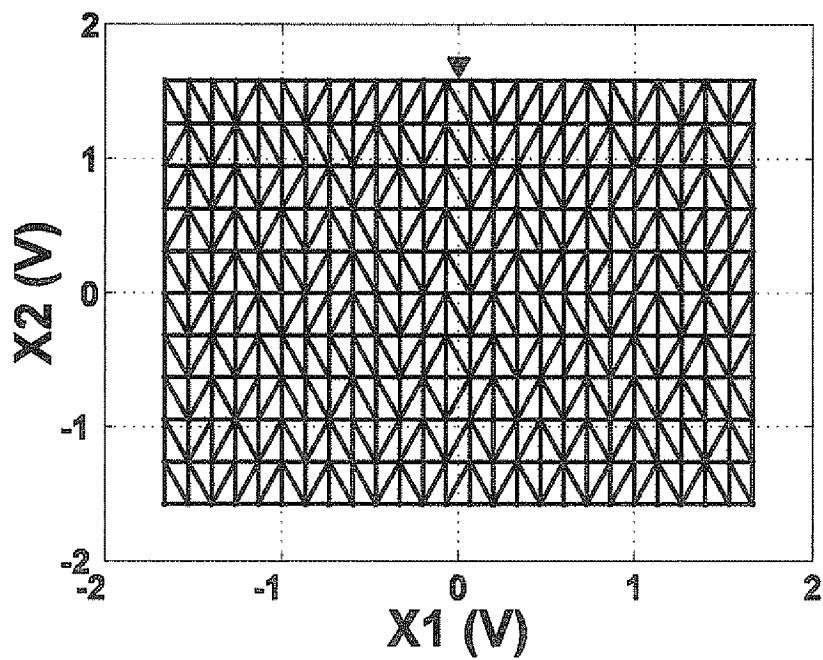


图 6

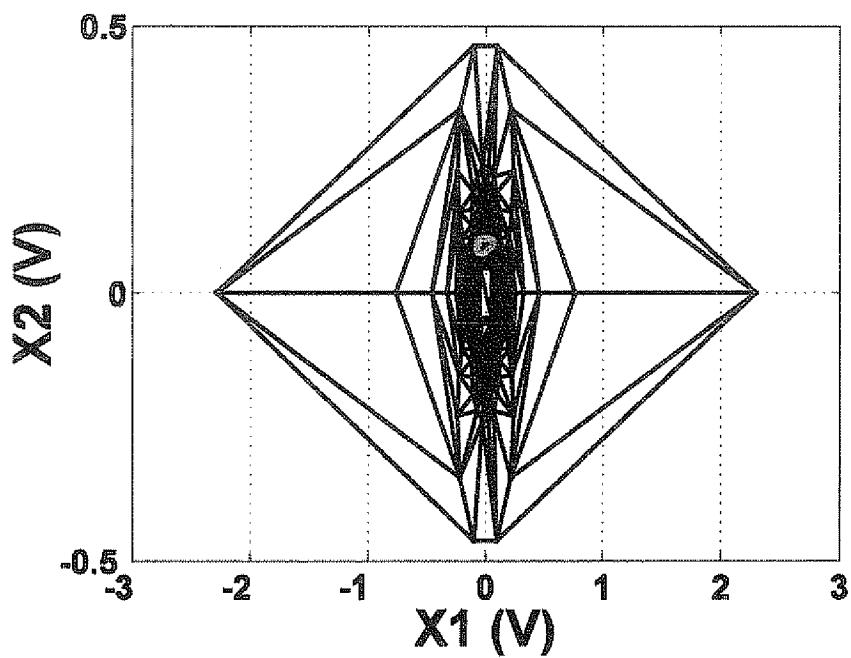


图 7

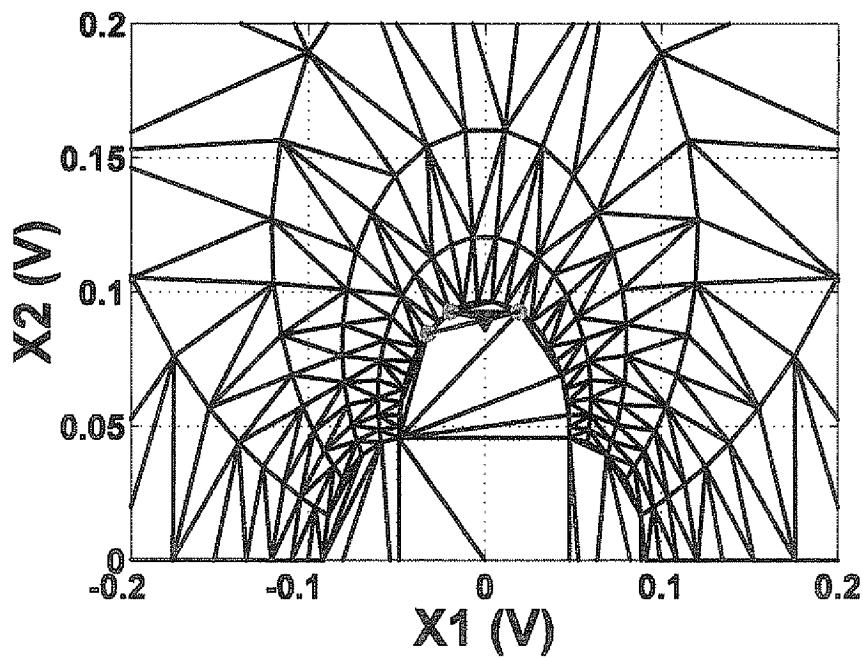


图 8

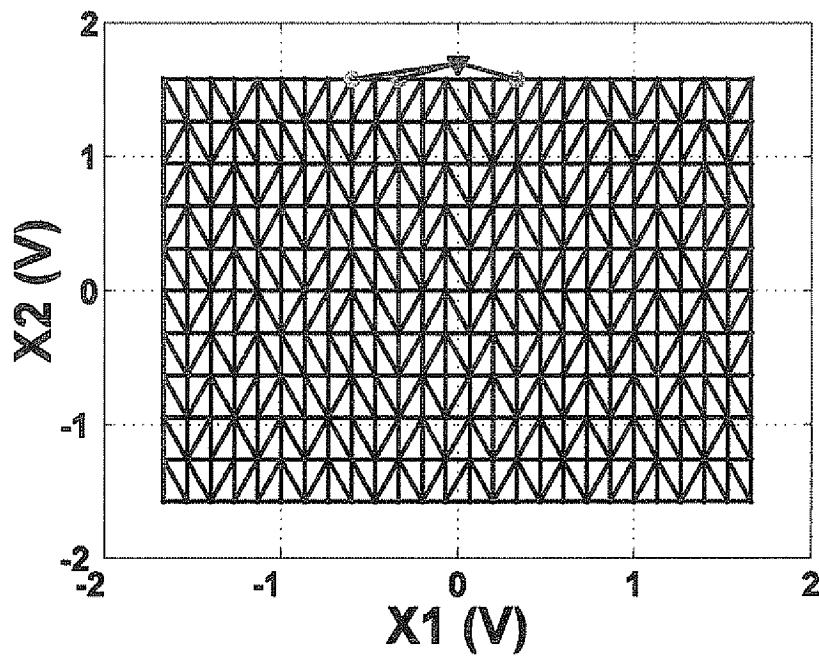


图 9

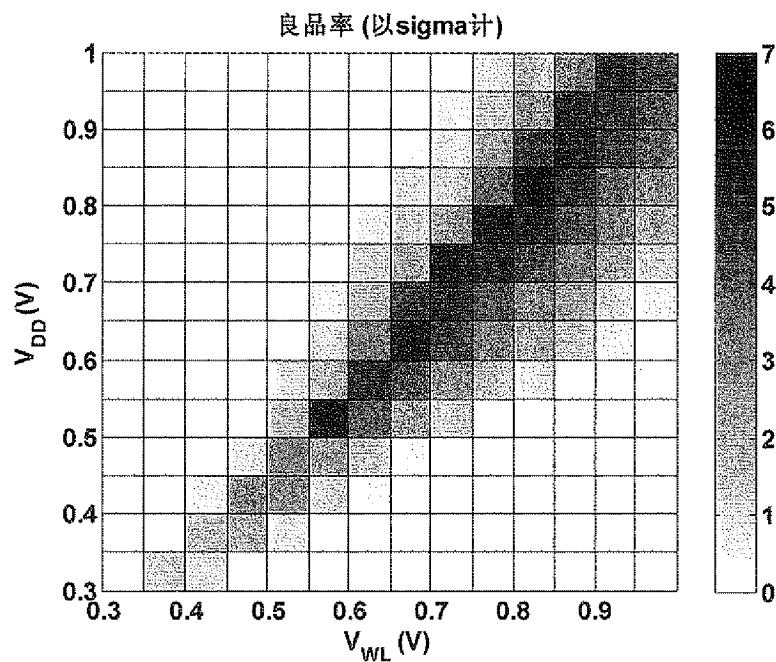


图 10

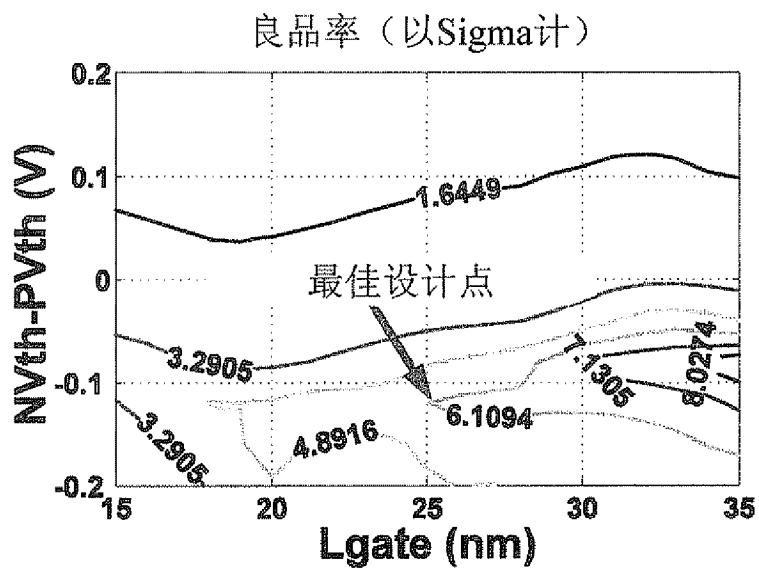


图 11