

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2017 年 11 月 16 日 (16.11.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/193367 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 17/50 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2016/082008

(22) 国际申请日: 2016 年 5 月 13 日 (13.05.2016)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 清华大学 (TSINGHUA UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国北京市海淀区清华园,
Beijing 100084 (CN)。

(72) 发明人: 黄利平 (HUANG, Liping); 中国北京市
海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。 赵继丛
(ZHAO, Jicong); 中国北京市海淀区清华园,
Beijing 100084 (CN)。 田凌 (TIAN, Ling); 中国
北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。

李春光 (LI, Chunguang); 中国北京市海淀区
清华园, Beijing 100084 (CN)。

(74) 代理人: 北京清亦华知识产权代理事务
所 (普通合伙) (TSINGYIHUA INTELLECTUAL
PROPERTY LLC); 中国北京市海淀区清华园清华
大学照澜院商业楼301室, Beijing 100084 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家
保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,
CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD,
GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE,
KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,

(54) Title: TWO-DIMENSIONAL SHEATH LAYER NUMERICAL SIMULATION METHOD AND SYSTEM FOR DUAL-FREQUENCY CAPACITIVELY COUPLED PLASMA ETCHING

(54) 发明名称: 双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟方法及系统

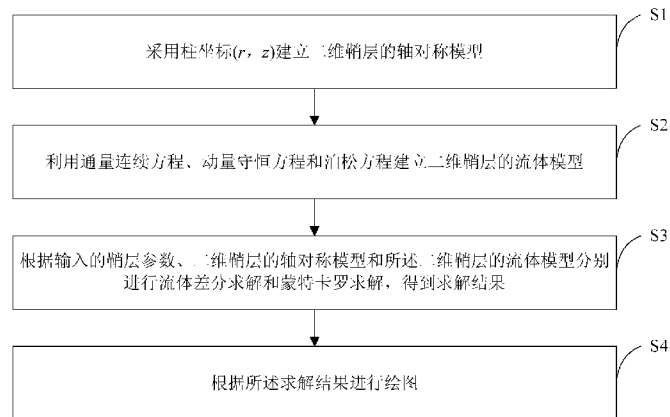


图 1

- S1 Using cylindrical coordinates (r, z) to create an axial symmetry model of a two-dimensional sheath layer
S2 Using a flux continuity equation, a momentum conservation equation and a Poisson equation to create a fluid model of the two-dimensional sheath layer
S3 Respectively performing fluid difference solving and Monte Carlo solving according to an input sheath layer parameter, the axial symmetry model of the two-dimensional sheath layer and the fluid model of the two-dimensional sheath layer to obtain a solving result
S4 Performing drawing according to the solving result

(57) Abstract: A two-dimensional sheath layer numerical simulation method and system for dual-frequency capacitively coupled plasma etching. The method comprises the steps: using cylindrical coordinates (r, z) to create an axial symmetry model of a two-dimensional sheath layer; using a flux continuity equation, a momentum conservation equation and a Poisson equation to create a fluid model of the two-dimensional sheath layer; respectively performing fluid difference solving and Monte Carlo solving according to an input sheath layer parameter, the axial symmetry model of the two-dimensional sheath layer and the fluid model of the two-dimensional sheath layer to obtain a solving result; and performing drawing according to the solving result. The method and system have the following advantages: a two-dimensional sheath layer model is created using a fluid mechanics method, and by exploring the two-dimensional sheath

TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

layer model, it is possible to quantitatively obtain a relationship between a plasma radial density and ion energy, and this contributes to the optimization of plasma density distribution, for example, by changing a cavity structure, a process parameter, etc. the uniformity of ion energy distribution is improved, thereby improving the uniformity of etching and reducing the phenomenon of bypass.

(57) 摘要: 一种双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟方法和系统, 方法包括步骤: 采用柱坐标(r , z)建立二维鞘层的轴对称模型; 利用通量连续方程、动量守恒方程和泊松方程建立二维鞘层的流体模型; 根据输入的鞘层参数、二维鞘层的轴对称模型和二维鞘层的流体模型分别进行流体差分求解和蒙特卡罗求解, 得到求解结果; 根据求解结果进行绘图。该方法和系统具有如下优点: 采用流体力学方法建立了二维鞘层模型, 通过探究二维鞘层模型, 能够定量的得到等离子体径向密度与离子能量之间的关系, 有助于促进等离子体密度分布的优化, 如通过改变腔室结构、工艺参数等以提高离子能量分布的均匀性, 从而提高刻蚀均匀性, 减小旁刻现象。

双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟方法及系统

技术领域

5 本发明属于计算机应用技术领域和集成电路制造领域，具体设计一种双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟方法及系统。

背景技术

10 集成电路（integrated circuit, IC）产业是电子信息产业的核心和基石。刻蚀是集成电路加工的重要步骤，它利用化学或物理方法有选择地从晶圆表面去除刻蚀材料。近年来，随着人们对集成电路微加工技术的要求越来越高，双频容性等离子体（Dual-Frequency Capacitively Coupled Plasma, DF-CCP）刻蚀备受关注。

15 在双频 CCP 刻蚀中，离子能量分布是影响刻蚀的重要因素，它影响着刻蚀损伤、刻蚀速率和刻蚀均匀性。而离子能量主要由鞘层控制，而鞘层环境又受到刻蚀腔室环境等因素的影响。因此，近年来国内外学者对鞘层展开了深入广泛地研究。

大连理工大学蒋相站、刘永新等人通过实验，对双频容性耦合等离子体密度的径向分布进行了探究。通过其研究可知，在不同的低频电压下、不同的腔室环境下，鞘层的等离子体密度径向分布不均匀。当离子径向密度存在波动时，一维鞘层模拟将不再适用。

20 发明内容

本发明实施例提供一种双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟方法及系统、设备及计算机存储介质，旨在解决当离子径向密度存在波动时，一维鞘层模拟将不再适用的问题。

25 本发明实施例是这样实现的，一种双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟方法，进行以下假设：

鞘层边界满足准电中性假设，正离子带电量综合等于电子总带电量；

轴对称边界满足电势、离子密度和离子轴向速度在径向方向上的梯度为零；

侧边界满足电势、离子密度和离子速度在径向方向上梯度为零；

下边界满足电势等于基板电压，离子密度和离子速度在轴向方向上梯度为零；

30 所述方法包括以下步骤：

S1：采用柱坐标 (r, z) 建立二维鞘层的轴对称模型，其中， $r=0$ 为鞘层区的轴对称边界， $z=0$ 为鞘层区的下级板边界， $z=d$ 为主等离子体区-鞘层边界， $r=R$ 表示鞘层区的侧边界。

S2: 利用通量连续方程、动量守恒方程和泊松方程建立二维鞘层的流体模型;

S3: 根据输入的鞘层参数、二维鞘层的轴对称模型和所述二维鞘层的流体模型分别进行流体差分求解和蒙特卡罗求解, 得到求解结果;

S4: 根据所述求解结果进行绘图。

5 本发明实施例的另一目的在于提供一种双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟系统, 进行以下假设:

鞘层边界满足准电中性假设, 正离子带电量综合等于电子总带电量;

轴对称边界满足电势、离子密度和离子轴向速度在径向方向上的梯度为零;

侧边界满足电势、离子密度和离子速度在径向方向上梯度为零;

10 下边界满足电势等于基板电压, 离子密度和离子速度在轴向方向上梯度为零;

所述系统包括:

建模模块, 所述建模模块用于采用柱坐标 (r, z) 建立二维鞘层的轴对称模型, 其中, $r=0$ 为鞘层区的轴对称边界, $z=0$ 为鞘层区的下级板边界, $z=d$ 为主等离子体区-鞘层边界; 所述建模模块还用于利用通量连续方程、动量守恒方程和泊松方程建立二维鞘层的流体模型;

15 文件管理模块, 用于将计算所需的配置文件进行存储;

计算模块, 用于根据输入的鞘层参数、二维鞘层的轴对称模型和所述二维鞘层的流体模型分别进行流体差分求解和蒙特卡罗求解, 得到求解结果;

绘图模块, 用于根据所述求解结果进行绘图。

20 本发明实施例的另一目的在于提供一种设备, 包括: 一个或者多个处理器; 存储器; 一个或者多个程序, 所述一个或者多个程序存储在所述存储器中, 当被所述一个或者多个处理器执行时, 执行本发明上述实施例的多播放设备的蓝牙连接控制方法。

本发明实施例的另一目的在于提供一种非易失性计算机存储介质, 所述计算机存储介质存储有一个或者多个程序, 当所述一个或者多个程序被一个设备执行时, 使得所述设备执行本发明上述实施例的多播放设备的蓝牙连接控制方法。

25 本发明实施例采用流体力学方法建立了二维鞘层模型, 模拟了含有二维单离子的鞘层, 分析了鞘层边界处等离子体径向密度分布不均匀对鞘层各参数的影响, 得到了鞘层内离子密度分布、离子速度分布、鞘层电势以及入射基板离子的平均能量在径向上的分布等。能够定量地对鞘层的以上参量进行分析。通过探究二维鞘层模型, 能够定量的得到等离子体径向密度与离子能量之间的关系, 有助于促进等离子体密度分布的优化, 如通过改变腔室
30 结构、工艺参数等以提高离子能量分布的均匀性, 从而提高刻蚀均匀性, 减小旁刻现象。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 是本发明的双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟方法的流程图；

图 2 是本发明一个实施例的二维鞘层的轴对称模型；

图 3 是本发明的双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟系统的结构框图；

图 4 是本发明一个实施例的鞘层模拟系统绘图流程图；

图 5 (a) 是本发明一个实施例的等离子体径向密度分布中间低边缘高分布中鞘层内离子密度分布图；

图 5 (b) 是本发明一个实施例的等离子体径向密度分布中间低边缘高分布中鞘层内离子速度分布图；

图 5 (c) 是本发明一个实施例的等离子体径向密度分布中间低边缘高分布中鞘层内电势分布图；

图 5 (d) 是本发明一个实施例的等离子体径向密度分布中间低边缘高分布中入射基板的平均离子能量图；

图 6 (a) 是本发明一个实施例的等离子体径向密度波动的分布中鞘层内离子密度分布图；

图 6 (b) 是本发明一个实施例的等离子体径向密度波动的分布中鞘层内离子速度分布图；

图 6 (c) 是本发明一个实施例的等离子体径向密度波动的分布中鞘层内电势分布图；

图 6 (d) 是本发明一个实施例的等离子体径向密度波动的分布中鞘层位置为 $z=0.5\text{mm}$ ，基板电压为 $V_e=-770\text{V}$ 时的鞘层电势分布图；

图 6 (e) 是本发明一个实施例的等离子体径向密度波动的分布中入射基板离子的径向平均能量分布图。

具体实施方式

下面详细描述本发明的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，仅用于解释本发明，而不能理解为对本发明的限制。

参照下面的描述和附图，将清楚本发明的实施例的这些和其他方面。在这些描述和附图中，具体公开了本发明的实施例中的一些特定实施方式，来表示实施本发明的实施例的

原理的一些方式，但是应当理解，本发明的实施例的范围不受此限制。相反，本发明的实施例包括落入所附加权利要求书的精神和内涵范围内的所有变化、修改和等同物。

以下结合附图描述根据本发明实施例的双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟方法。

5 请参考图 1，一种双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟方法，首先进行以下假设：鞘层边界满足准电中性假设，正离子带电量综合等于电子总带电量；轴对称边界满足电势、离子密度和离子轴向速度在径向方向上的梯度为零；侧边界满足电势、离子密度和离子速度在径向方向上梯度为零；下边界满足电势等于基板电压，离子密度和离子速度在轴向方向上梯度为零。

10 上述模拟方法包括以下步骤：

S1：采用柱坐标 (r, z) 建立二维鞘层的轴对称模型，其中， $r=0$ 为鞘层区的轴对称边界， $z=0$ 为鞘层区的下级板边界， $z=d$ 为主等离子体区-鞘层边界， $r=R$ 表示鞘层区的侧边界。

具体地，请参考图 2，鞘层区的坐标 $r \in [0, R]$, 坐标 $z \in [0, d]$ 。

S2：利用通量连续方程、动量守恒方程和泊松方程建立二维鞘层的流体模型。

15 S3：根据输入的鞘层参数、二维鞘层的轴对称模型和所述二维鞘层的流体模型分别进行流体差分求解和蒙特卡罗求解，得到求解结果。

在本发明的一个实施例中，上述输入的鞘层参数包括高频频率、低频频率、高频电流、低频电流、鞘层厚度、离子平均密度、离子相对质量、电子温度、半径长度、轴向长度、轴向网络数、径向网络数、时间步长和周期离散步长中的一种或多种。

20 在本发明的一个实施例中，上述求解结果包括鞘层内物理量和离子入射基板的能量分布。

在本发明的一个实施例中，上述鞘层内物理量包括离子密度、离子速度、鞘层电势和鞘层电场中的一种或多种。

25 以下结合附图描述根据本发明实施例的双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟系统。

一种双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟系统，首先进行以下假设：鞘层边界满足准电中性假设，正离子带电量综合等于电子总带电量；轴对称边界满足电势、离子密度和离子轴向速度在径向方向上的梯度为零；侧边界满足电势、离子密度和离子速度在
30 径向方向上梯度为零；下边界满足电势等于基板电压，离子密度和离子速度在轴向方向上梯度为零。

上述模拟系统包括建模模块、文件管理模块、计算模块和绘图模块。

其中，建模模块采用柱坐标 (r, z) 建立二维鞘层的轴对称模型，其中， $r=0$ 为鞘层区的轴对称边界， $z=0$ 为鞘层区的下级板边界， $z=d$ 为主等离子体区-鞘层边界， $r=R$ 表示鞘层区的侧边界；建模模块利用通量连续方程、动量守恒方程和泊松方程建立二维鞘层的流体模型。

5 具体地，请再次参考图 2，鞘层区的坐标 $r \in [0, R]$ ，坐标 $z \in [0, d]$ 。

计算模块，用于根据输入的鞘层参数、二维鞘层的轴对称模型和所述二维鞘层的流体模型分别进行流体差分求解和蒙特卡罗求解，得到求解结果。

具体地，计算模块主要实现鞘层的计算。计算的流程步骤如图 4 所示。进行计算时，首先要新建工程，然后选择二维单粒子模拟，之后是模拟参数定义，包括模型定义参数配置
10 置和模型系统参数配置，之后进行鞘层演化，鞘层演化包括了鞘层计算和蒙特卡罗演化，最后得到了结果，可以进行结果日志保存。

蒙特卡罗二维单离子鞘层演化，能反映等离子体密度分布对离子能量分布的影响，帮助工程师获得离子能量的径向分布信息，从而减少旁刻现象和提高刻蚀均匀性。

在本发明的一个实施例中，上述输入的鞘层参数包括高频频率、低频频率、高频电流、
15 低频电流、鞘层厚度、离子平均密度、离子相对质量、电子温度、半径长度、轴向长度、轴向网络数、径向网络数、时间步长和周期离散步长中的一种或多种。

在本发明的一个实施例中，上述求解结果包括鞘层内物理量和离子入射基板的能量分布。

在本发明的一个实施例中，上述鞘层内物理量包括离子密度、离子速度、鞘层电势和
20 鞘层电场中的一种或多种。

文件管理模块，用于将计算所需的配置文件进行存储。

具体地，文件管理模块，实现了模型参数设置和系统参数设置的保存、打开等功能。模型参数设置包括高频频率(f_high)、低频频率(f_low)、高频电流(I_high)、低频电流(I_low)、鞘层厚度(d_sheath)、离子平均密度(n0)、离子相对质量(Mi)、电子温度(Te)、半径长度(r)、
25 轴向长度(z)、轴向网络数(M)、径向网络数(N)、时间步长(dt)、周期离散步长(d_cycle)等。系统参数设置包括临时文件名(tempFileName)、结果文件名(resultFileName)、存储路径(filePath)、扫描结果间隔等。

绘图模块，用于根据求解结果进行绘图。

具体地，绘图模块的绘图界面包含了菜单区、数据载入、绘图设置、绘图区和状态区。
30 其中菜单区和状态区和计算界面相同。数据载入区可以将鞘层电势、鞘层电场、离子速度、离子与电子密度、离子通量、离子厚度和能量分布等计算结果逐个或全部载入。在绘图设置区，有 2D、3D、能量分布和设置四个选项卡，选择 2D 标签用于绘制二维图像，3D 标

签用于绘制三维图像，能量分布标签用于绘制能量分布图像，设置标签用于设置绘图中标注和网格的设置等。绘制图像时，用户可以选择坐标轴所代表的参数，手动输入各个坐标轴的标注以及数据间隔等。图像绘制完成后，还可以将绘制的图像保存为 jpg 格式的图片。本系统绘图功能采用 matlab 中 plot() 等函数为基础的二维、三维绘图函数，将图像呈现在系统的绘图区。系统实现了 matlab 的高效集成，方便了用户的使用。

在本发明的一个实施例中，双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟系统还包括日志保存模块，日志保存模块用于对每次模拟输入的鞘层参数和结算结果进行对应存储。

本发明实施例的双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟系统的操作过程为：首先用户通过文件管理模块新建一个模拟任务，然后在计算模块选择鞘层类型，完成模拟参数定义；进而进行鞘层计算和蒙特卡罗计算；最后得到鞘层内物理量（如离子密度、离子速度、鞘层电势和鞘层电场等）和离子入射基板的能量分布。在绘图模块中可以将模拟结果绘制成二维和三维图形，方便用户观察鞘层演化结果。鞘层模拟系统还提供日志保存功能，记录用户的操作行为，显示鞘层模拟系统的工作状态，便于追溯与分析。

在本发明的一个示例中，分别将等离子体径向密度中间低边缘高的分布和径向波动分布分别导入鞘层模拟系统进行计算，通过计算可以得到鞘层内的离子密度分布、速度分布、电势分布、入射基板的平均离子能量。请参考图 5-图 6，等离子体密度分布是决定离子径向平均能量分布的主要因素，而通过二维鞘层模型可以定量地得到等离子体径向密度与离子能量之间的关系。为得到均匀的离子能量分布，提高刻蚀均匀性，需要对不同的离子径向密度分布进行模拟。

本发明采用流体力学方法建立了二维鞘层模型，模拟了含有二维单离子的鞘层，分析了鞘层边界处等离子体径向密度分布不均匀对鞘层各参数的影响，得到了鞘层内离子密度分布、离子速度分布、鞘层电势以及入射基板离子的平均能量在径向上的分布等。本发明能够定量地对鞘层的以上参量进行分析。通过探究二维鞘层模型，能够定量的得到等离子体径向密度与离子能量之间的关系，有助于促进等离子体密度分布的优化，如通过改变腔室结构、工艺参数等以提高离子能量分布的均匀性，从而提高刻蚀均匀性，减小旁刻现象。

另外，本发明实施例的双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟方法及系统的其它构成以及作用对于本领域的技术人员而言都是已知的，为了减少冗余，不做赘述。

在本说明书的描述中，参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中，对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且，描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

尽管已经示出和描述了本发明的实施例，本领域的普通技术人员可以理解：在不脱离本发明的原理和宗旨的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型，本发明的范围由权利要求及其等同限定。

权利要求书

1、一种双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟方法，其特征在于，进行以下假设：

- 5 鞘层边界满足准电中性假设，正离子带电量综合等于电子总带电量；
轴对称边界满足电势、离子密度和离子轴向速度在径向方向上的梯度为零；
侧边界满足电势、离子密度和离子速度在径向方向上梯度为零；
下边界满足电势等于基板电压，离子密度和离子速度在轴向方向上梯度为零；
所述方法包括以下步骤：

- 10 S1：采用柱坐标 (r, z) 建立二维鞘层的轴对称模型，其中， $r=0$ 为鞘层区的轴对称边界， $z=0$ 为鞘层区的下级板边界， $z=d$ 为主等离子体区-鞘层边界， $r=R$ 表示鞘层区的侧边界。
S2：利用通量连续方程、动量守恒方程和泊松方程建立二维鞘层的流体模型；
S3：根据输入的鞘层参数、二维鞘层的轴对称模型和所述二维鞘层的流体模型分别进行流体差分求解和蒙特卡罗求解，得到求解结果；
15 S4：根据所述求解结果进行绘图。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述输入的鞘层参数包括高频频率、低频频率、高频电流、低频电流、鞘层厚度、离子平均密度、离子相对质量、电子温度、半径长度、轴向长度、轴向网络数、径向网络数、时间步长和周期离散步长中的一种或多种。

- 3、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述求解结果包括鞘层内物理量和离子
20 入射基板的能量分布。

4、根据权利要求3所述的方法，其特征在于，所述鞘层内物理量包括离子密度、离子速度、鞘层电势和鞘层电场中的一种或多种。

5、一种双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟系统，其特征在于，进行以下假设：

- 25 鞘层边界满足准电中性假设，正离子带电量综合等于电子总带电量；
轴对称边界满足电势、离子密度和离子轴向速度在径向方向上的梯度为零；
侧边界满足电势、离子密度和离子速度在径向方向上梯度为零；
下边界满足电势等于基板电压，离子密度和离子速度在轴向方向上梯度为零；
所述系统包括：

- 30 建模模块，所述建模模块用于采用柱坐标 (r, z) 建立二维鞘层的轴对称模型，其中， $r=0$ 为鞘层区的轴对称边界， $z=0$ 为鞘层区的下级板边界， $z=d$ 为主等离子体区-鞘层边界；所

述建模模块还用于利用通量连续方程、动量守恒方程和泊松方程建立二维鞘层的流体模型；

文件管理模块，用于将计算所需的配置文件进行存储；

计算模块，用于根据输入的鞘层参数、二维鞘层的轴对称模型和所述二维鞘层的流体模型分别进行流体差分求解和蒙特卡罗求解，得到求解结果；

5 绘图模块，用于根据所述求解结果进行绘图。

6、根据权利要求5所述的系统，其特征在于，所述输入的鞘层参数包括高频频率、低频频率、高频电流、低频电流、鞘层厚度、离子平均密度、离子相对质量、电子温度、半径长度、轴向长度、轴向网络数、径向网络数、时间步长和周期离散步长中的一种或多种。

7、根据权利要求5所述的系统，其特征在于，所述求解结果包括鞘层内物理量和离子
10 入射基板的能量分布。

8、根据权利要求7所述的系统，其特征在于，所述鞘层内物理量包括离子密度、离子速度、鞘层电势和鞘层电场中的一种或多种。

9、根据权利要求5-8任一项所述的系统，其特征在于，还包括：

日志保存模块，用于对每次模拟输入的鞘层参数和结算结果进行对应存储。

15 10、一种设备，其特征在于，包括：

一个或者多个处理器；

存储器；

一个或者多个程序，所述一个或者多个程序存储在所述存储器中，当被所述一个或者多个处理器执行时，执行如权利要求1-4任一项所述的双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟方法。
20

11、一种非易失性计算机存储介质，其特征在于，所述计算机存储介质存储有一个或者多个程序，当所述一个或者多个程序被一个设备执行时，使得所述设备执行如权利要求1-4任一项所述的双频容性耦合等离子体刻蚀鞘层二维数值模拟方法。

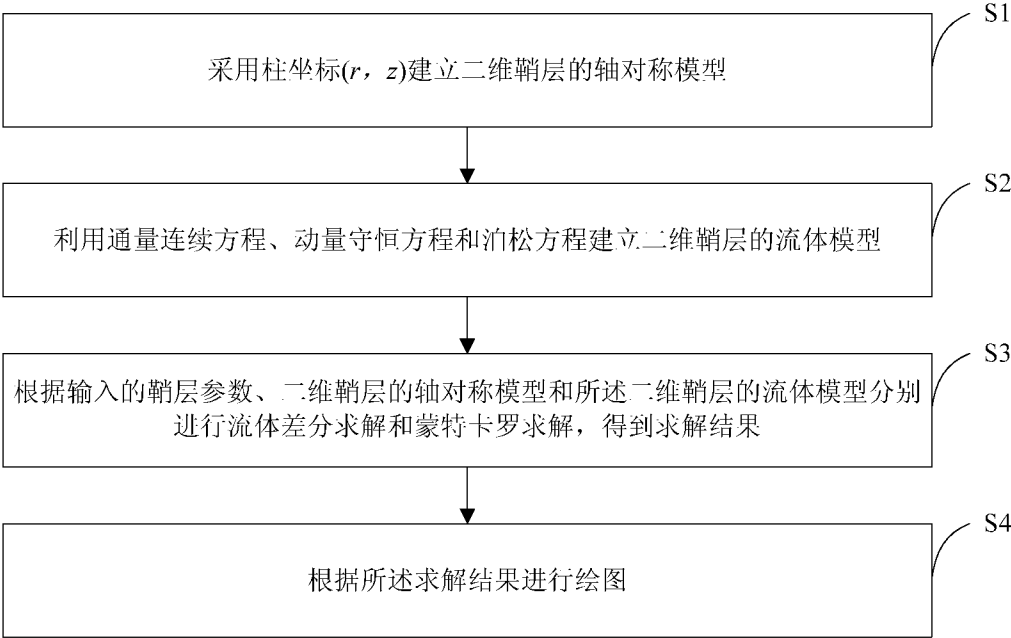


图 1

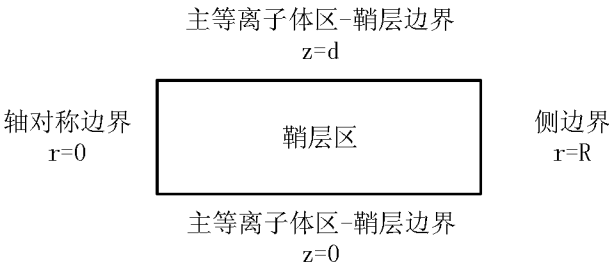


图 2

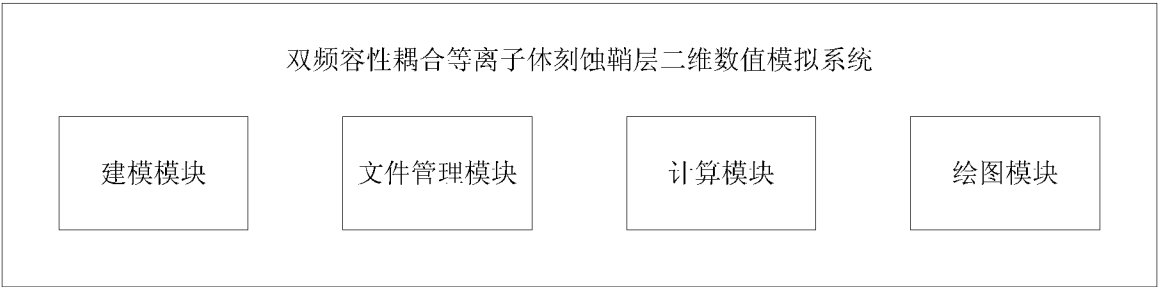


图 3

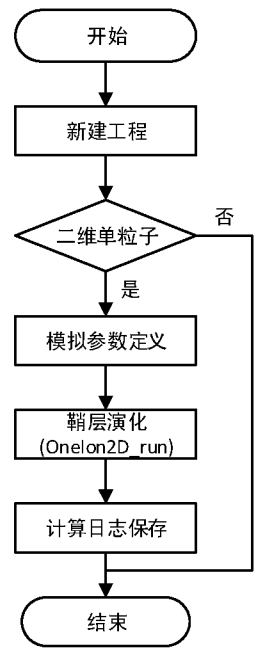


图 4

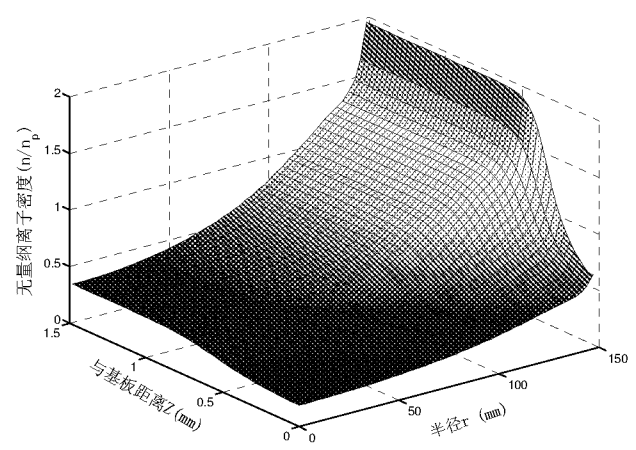


图 5 (a)

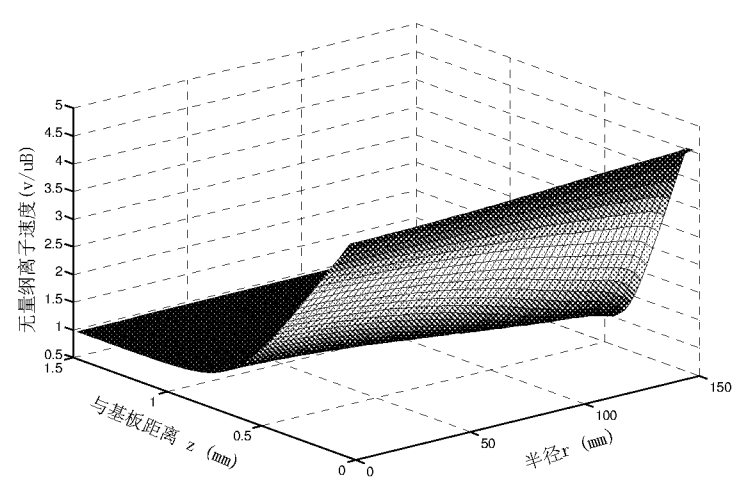


图 5 (b)

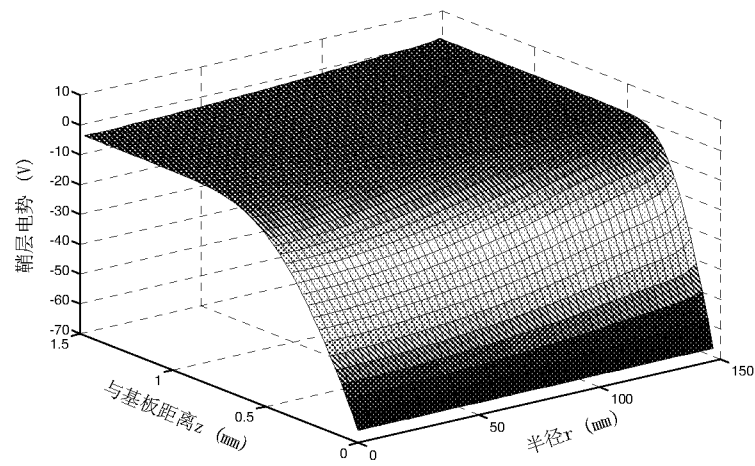


图 5 (c)

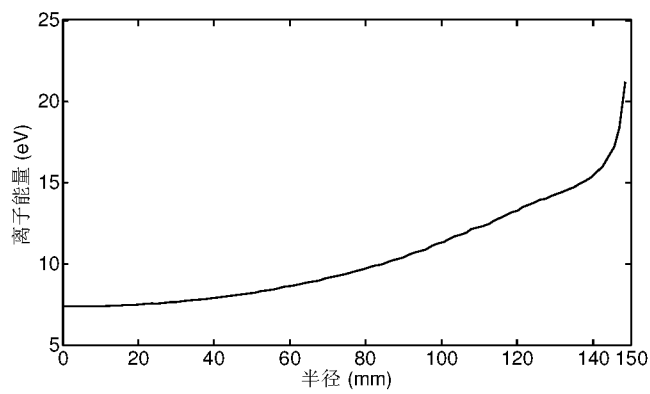


图 5 (d)

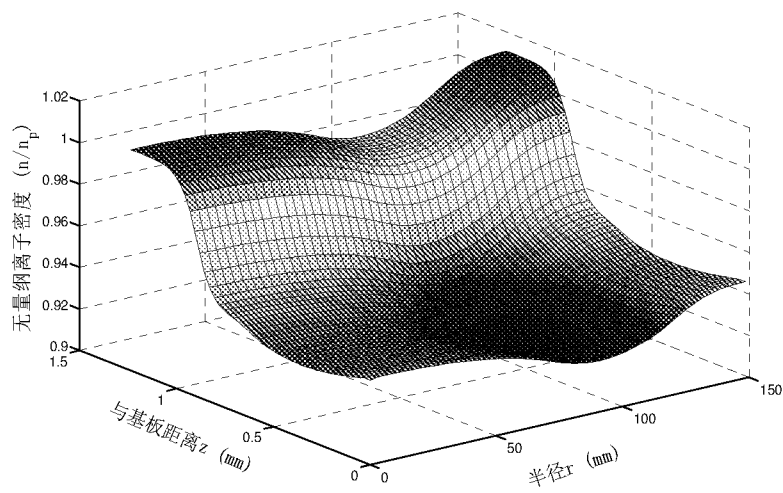


图 6 (a)

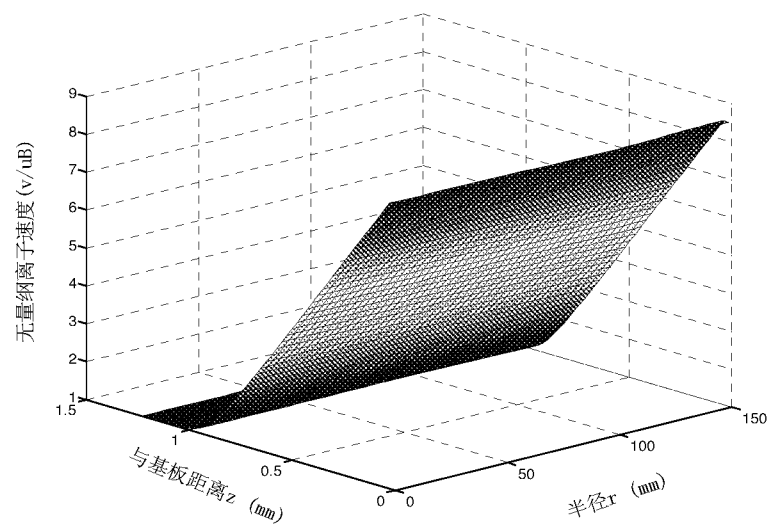


图 6 (b)

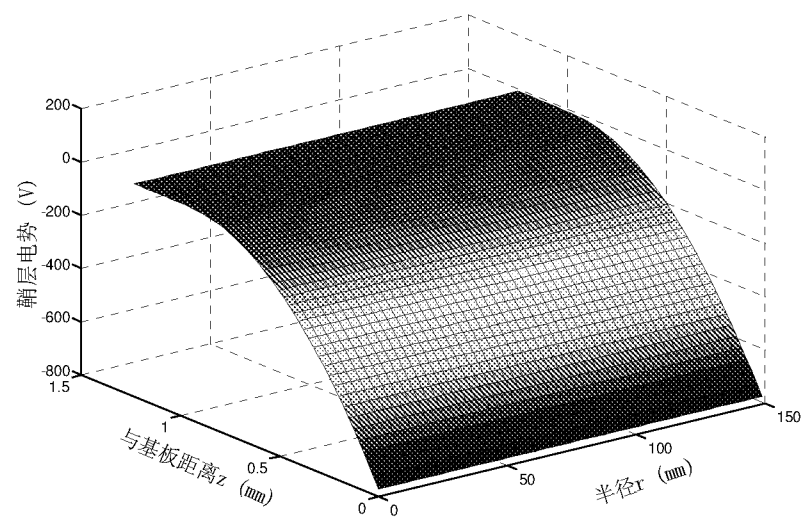


图 6 (c)

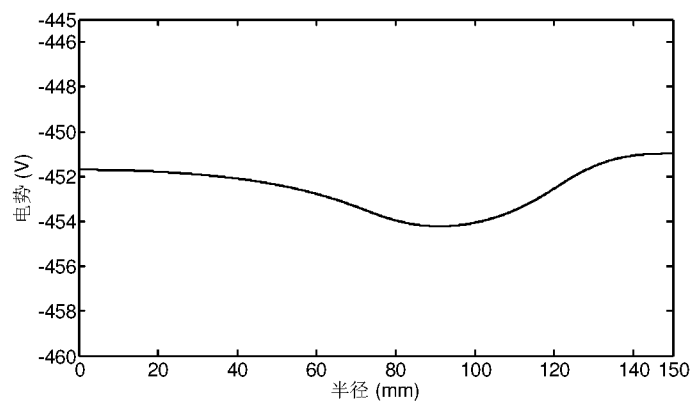


图 6 (d)

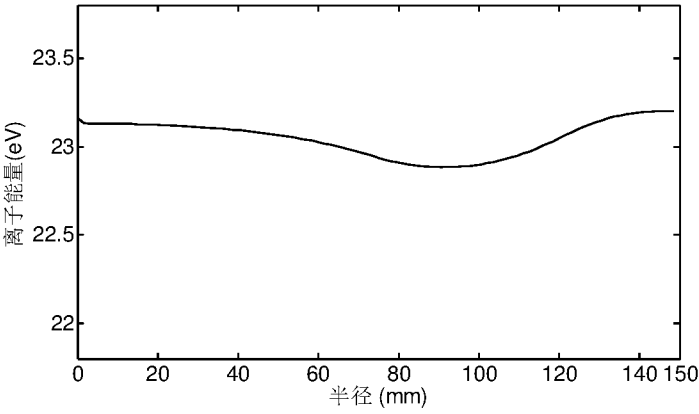


图 6 (e)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/082008

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 17/50 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: coordinate, poisson equation, solve, dual 1w frequency, capacit+, coupled, plasma, two 1w dimensional, simulation, etch+, sheath, equation, monte 1w carlo

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	LIU, Chuansheng; "Fluid Simulation for Sheath Characteristics in Dual-Frequency Capacitively Coupled Discharges", CHINA MASTER'S THESES FULL-TEXT DATABASE (BASIC SCIENCES), no. 05, 15 May 2009 (15.05.2009), ISSN: 1674-0224, page 20, paragraph 1 to page 24, paragraph 5	1-11
A	CN 102194031 A (TSINGHUA UNIVERSITY), 21 September 2011 (21.09.2011), the whole document	1-11
A	US 2010063787 A1 (TOKYO ELECTRON LTD.), 11 March 2010 (11.03.2010), the whole document	1-11
A	WANG, Shuai et al., "Two-Dimensional Hybrid Simulation of Dual-Frequency Capacitively Coupled CF4 Plasma", HIGH POWER LASER AND PARTICLE BEAMS, vol. 25, no. 9, 30 September 2013 (30.09.2013), ISSN: 1001-4322, pages 2297-2301	1-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 16 January 2017 (16.01.2017)	Date of mailing of the international search report 25 January 2017 (25.01.2017)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer ZHANG, Yue Telephone No.: (86-10) 010-61648116

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2016/082008

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102194031 A	21 September 2011	CN 102194031 B	10 October 2012
US 2010063787 A1	11 March 2010	US 8103492 B2	24 January 2012

A. 主题的分类 G06F 17/50 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G06F 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 双频, 容性, 耦合, 等离子, 蚀, 鞘层, 二维, 模拟, 坐标, 泊松方程, 蒙特卡洛, 求解, dual lw frequency, capacit+, coupled, plasma, two lw dimensional, simulation, etch+, sheath, equation, monte lw carlo		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	刘传生. “双频容性耦合等离子体鞘层特性的流体力学模拟” 中国优秀硕士学位论文全文数据库 (基础科技辑), 第05期, 2009年 5月 15日 (2009 - 05 - 15), ISSN: 1674-0224, 第20页第1段-第24页第5段	1-11
A	CN 102194031 A (清华大学) 2011年 9月 21日 (2011 - 09 - 21) 全文	1-11
A	US 2010063787 A1 (TOKYO ELECTRON LTD.) 2010年 3月 11日 (2010 - 03 - 11) 全文	1-11
A	王帅 等. “双频容性耦合CF4等离子体放电的二维混合模拟” 强激光与粒子束, 第25卷, 第9期, 2013年 9月 30日 (2013 - 09 - 30), ISSN: 1001-4322, 第2297-2301页	1-11
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2017年 1月 16日		国际检索报告邮寄日期 2017年 1月 25日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451		受权官员 张跃 电话号码 (86-10) 010-61648116

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/082008

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)	
CN	102194031	A	2011年 9月 21日	CN	102194031 B	2012年 10月 10日
US	2010063787	A1	2010年 3月 11日	US	8103492 B2	2012年 1月 24日