

等离子体鞘层附近尘埃颗粒特性的数值模拟*

吴静^{1)2)†} 刘国¹⁾ 姚列明¹⁾ 段旭如²⁾

1) (电子科技大学物理电子学院, 成都 610054)

2) (核工业西南物理研究院聚变所, 成都 610041)

(2011年4月28日收到; 2011年6月23日收到修改稿)

为了研究尘埃等离子体中尘埃颗粒以及鞘层中粒子密度分布等特性, 对尘埃颗粒存在条件下等离子体鞘层结构的采取数值模拟. 采用稳态无碰撞的尘埃等离子体鞘层模型, 对玻姆判据、尘埃颗粒的荷电性质、平板鞘层区域的电势分布及鞘层内粒子分布特性进行了系统的数值模拟研究. 计算结果显示, 鞘层边缘尘埃颗粒数密度的增加、尘埃温度的升高, 将引起孤立尘埃颗粒对电子吸附能力的减弱, 集体效应也受到一定程度的影响; 二者同时对离子玻姆速度以及鞘层厚度的增加都有着极大的促进作用. 鞘层电势在靠近下极区处降落迅速, 主要聚集在接近阴极极板的鞘层区域, 各种微粒数密度的空间分布满足准中性条件.

关键词: 等离子体鞘层, 尘埃颗粒, 电荷涨落, 粒子密度分布

PACS: 52.27.Lw, 52.25.-b, 52.70.-m

1 引言

近 20 年来, 尘埃等离子体物理 (dusty plasma) 的发展进入了一个新的时期. 天体物理学的发展、新一代集成电路以及表面沉积技术的工艺需求, 使得尘埃等离子体已成为等离子体物理学的一个重要前沿分支. 它的诞生对空间物理、半导体物理、材料科学等学科和等离子体化学气象沉积 (PEVCD)、等离子体溅射和蚀刻以及微电子加工工艺等工业生产领域都产生了深远的影响和巨大的推动^[1]. 早在 100 多年前, 天文学上就观测到了在星际空间、彗星环和彗尾处出现因紫外辐照而带电的尘埃颗粒. 1924 年, 郎谬尔 (Langmuir) 等人在实验室等离子体研究中发现了溅射粒子吸附电子的现象^[2]. 之后, 这一新兴前沿学科发展缓慢, 直到 1985 年, Roth 和 Spears 等人^[3]报道了在等离子体加工过程中有颗粒形成的现象, 并利用激光散射法 (laser light scattering) 观测到了在等离子体鞘层边界有尘埃颗粒聚集的现象, 随后许多的学者陆续在直流和射频放电中发现了同样的物理过程^[4-6]. 1989 年, Selwyn 等人^[4]发现尘埃颗粒在蚀刻过程中成长且具有与空间环境中的尘埃

颗粒相同的物理性质^[7]; 20 世纪 90 年代中后期, Thomas 等人^[8]实现了尘埃等离子体的晶格结构, Barkan 等人^[9]在稳态等离子体中观测到了尘埃颗粒运动激发出的尘埃声波. 长期以来, 不少科研人员对等离子体放电过程中尘埃颗粒的累积及输运也展开了广泛的研究^[10,11]. 目前, 尘埃等离子体中形成的空洞和云斑^[12-14]、晶格波^[15]、马赫锥^[16,17]以及非线性集体波动效应^[18]都引起了人们极大地研究热情和兴趣. 离子和尘埃颗粒在等离子体鞘层边界附近的结构性质、分布特性及微粒行为, 对于控制尘埃颗粒在鞘层边界附近的输运有着重要影响^[19-22].

鉴于此, 采用稳态平板鞘层模型、流体方程和尘埃颗粒充电方程自洽模型^[23]来系统地研究尘埃颗粒在鞘层中的荷电性质、空间电场电势、颗粒的分布特性及玻姆判据. 在前人的基础上^[23-30], 得到了一些新的结果, 为进一步研究实际生产过程中尘埃颗粒的输运特性提供一定的参考价值.

2 稳态尘埃等离子体鞘层流体模型

本文主要基于无碰撞、稳态 ($\frac{\partial F}{\partial t} = 0$, F 为

* ITER 配套国内项目 (批准号: 2009GB107004) 和中央高校基本科研业务费 (批准号: ZYGX2010J056) 资助的课题.

† E-mail: wujing@uestc.edu.cn

只与空间位置相关的力学量) 的等离子体鞘层模型. 流体模型中, 等离子体鞘层包含三种带电粒子: 电子、冷离子和由于吸附带电粒子而带电的尘埃颗粒. 稳态电子满足热平衡条件, 即满足玻尔兹曼 (Boltzmann) 分布. 如果尘埃颗粒是原位生成的, 直径较小且颗粒的密度比较高 (而不是投入的少数颗粒), 考虑尘埃颗粒的集体效应, 且不考虑相互之间受力运动, 尘埃颗粒也可看成玻尔兹曼分布来处理. 因此, 电子密度和尘埃颗粒密度分布可由下式给出:

$$\begin{aligned} N_e &= N_{es} \exp\left(\frac{e\phi(x)}{kT_e}\right), \\ N_d &= N_{ds} \exp\left(\frac{Z_d e\phi(x)}{kT_d}\right). \end{aligned} \quad (1)$$

等离子体鞘层边缘满足准中性条件 (quasi-neutrality condition)

$$\begin{aligned} N_{is} &= N_{es} \exp\left(\frac{e\phi(0)}{kT_e}\right) \\ &+ Z_d N_{ds} \exp\left(\frac{Z_d e\phi(0)}{kT_d}\right). \end{aligned} \quad (2)$$

鞘层边缘电位很小, 近似有 $\phi(0) = 0$, (2) 式可简化为

$$N_{is} = N_{es} + Z_d N_{ds}, \quad (3)$$

式中 N_e , N_d , N_i 分别代表鞘层区域负电子、尘埃颗粒和正离子的粒子数密度分布, 为空间位置的函数; N_{es} , N_{ds} , N_{is} 分别代表鞘层边界三种粒子的数密度, 满足准中性条件; T_e , T_d 为电子和尘埃颗粒的温度, k 为玻尔兹曼 (Boltzmann) 常数, e 为电子电量, $\phi(x)$ 为平板鞘层间的空间电势, Z_d 为尘埃颗粒携带电子数目.

无碰撞稳态等离子体鞘层模型可以用流体方程和能量守恒方程加以描述:

$$\begin{aligned} N_{is}\nu_{is} &= N_i\nu_i, \\ \frac{1}{2}m_i\nu_i^2 + e\phi(x) &= \frac{1}{2}m_i\nu_{is}^2 + e\phi(0), \end{aligned} \quad (4)$$

ν_i , ν_{is} 分别表示离子在鞘层内及被弱预鞘场加速后进入鞘层区时的速度, m_i 为离子质量, 由于大部分等离子体工艺中, 都采用氦气放电, 所以为了更贴近生产实际情况, 本模型中的离子采用氦离子来进行计算.

等离子体内电势 $\phi(x)$ 由泊松方程给定:

$$\nabla^2\phi(x) = -\frac{e}{\varepsilon_0}(N_i - N_e - Z_d N_d). \quad (5)$$

将 (1), (3), (4) 式代入 (5) 式, 并引入参数 $\alpha_d = \frac{N_{ds}}{N_{is}}$, $\beta_d = Z_d\alpha_d$, 得到

$$\begin{aligned} \nabla^2\phi(x) &= -\frac{e}{\varepsilon_0}N_{is} \left[\frac{1}{\sqrt{1 - 2e\phi(x)/m_i\nu_{is}^2}} \right. \\ &- (1 - \beta_d) \exp\left(\frac{e\phi(x)}{kT_e}\right) \\ &\left. - \beta_d \exp\left(\frac{Z_d e\phi(x)}{kT_d}\right) \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

对上式化简并应用鞘层边界条件 $E|_{x=0} = -\frac{d\phi}{dx}|_{x=0} = 0$, 获得尘埃等离子体鞘层区域电势分布 [31]

$$\begin{aligned} \left(\frac{d\eta}{d\xi}\right)^2 &= 2 \left\{ (1 - \beta_d)(e^{-\eta} - 1) \right. \\ &+ \frac{\beta_d}{\gamma Z_d}(e^{-Z_d\gamma\eta} - 1) \\ &\left. + M^2 \left(\sqrt{1 + \frac{2\eta}{M^2}} - 1 \right) \right\}, \end{aligned} \quad (7)$$

其中, $\eta = -e\phi(x)/kT_e$, $\lambda_D = \sqrt{\varepsilon_0 kT_e/e^2 N_{is}}$, $\xi = x/\lambda_D$, $M = \nu_{is}/\sqrt{kT_e/m_i}$, $\gamma = T_e/T_d$, λ_D 为德拜长度, M 为离子的玻姆 (Bohm) 速度, 以上参量均为无量纲化参数, (7) 式为无量纲化后的方程.

2.1 尘埃颗粒充电模型

尘埃颗粒以一定的初始速度进入等离子体鞘层后, 与等离子体中的相关粒子相互作用, 从而吸附热运动较强的电子和热运动相对较弱的离子. 由于电子热运动较强, 所以电子被尘埃颗粒吸附较离子要多, 从而在尘埃颗粒表面由于电子过剩呈现负电性. 当然也有尘埃带正电的情况, 例如尘埃颗粒的材料可以引发二次电子发射或处于强紫外辐射环境下辐射光子诱发光电子等 [7], 对于其充电机理可参考文献 [32]. 在电荷达到平衡时, 尘埃颗粒上的电子流和离子流通量相等, 进而使尘埃颗粒上的充电电流为零, 如下式 [7] 所示:

$$I_e + I_i = \frac{dQ_d}{dt} = 0, \quad (8)$$

I_e , I_i 分别是与粒子密度相关的电子流、离子流. 基于为轨道限制理论 (OML 理论), 二者可表述为以下形式:

$$I_e = -N_{es} R K_e \exp\left(\frac{eU_d}{kT_e}\right),$$

$$I_i = N_{is} R K_i \left(1 - \frac{eU_d}{kT_i} \right),$$

$$U_d = \frac{Q_d}{4\pi\epsilon_0 r_d} = \frac{e}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z_d}{r_d}, \quad (9)$$

$K_x = \sqrt{\frac{8kT_x}{\pi m_x}}$ ($x = e, i$), $R = e\pi r_d^2$, T_x, m_x ($x = e, i$) 分别表示电子、离子的温度和质量, r_d 为尘埃颗粒等效半径, U_d 为尘埃表面漂浮势, Q_d 为尘埃颗粒携带电荷量. 将 (9) 式代入 (8) 式得到

$$N_{es} = N_{is} \frac{K_i}{K_e} \left(1 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 k T_i} \frac{Z_d}{r_d} \right) \times \exp \left(- \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 k T_e} \frac{Z_d}{r_d} \right). \quad (10)$$

结合 (3) 式获得 Z_d, α_d 的关系方程

$$Z_d \alpha_d + \frac{K_i}{K_e} \left(1 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 k T_i} \frac{Z_d}{r_d} \right) \times \exp \left(- \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 k T_e} \frac{Z_d}{r_d} \right) = 1. \quad (11)$$

本文采用模型主要参数如下: $N_{is} = 10^9/\text{cm}^3$, 电子温度 $kT_e = 2.0 \text{ eV}$, 氦离子温度 $kT_i = 0.1 \text{ eV}$, 尘埃颗粒半径 $r_d = 100 \text{ nm}$.

3 模拟结果及讨论

3.1 电荷涨落

变量 Z_d 表示孤立尘埃颗粒携带的电子数目. 变量 α_d 表示鞘层边界处尘埃颗粒和离子的数密度之比. 变量 β_d 表示鞘层边界处单位体积内尘埃颗粒与离子的电荷比, 表现出的是尘埃颗粒带电的集体效应. 对方程 (11) 进行数值模拟, 可以得到 Z_d, β_d 随 α_d 的涨落关系如图 1 至图 3 所示, 图中 α_d 一律采用以 10 为底的对数坐标. 图 1 显示 α_d 增加, 即鞘层边缘尘埃颗粒密度增大, 孤立尘埃颗粒携带电子数目减少. 尘埃颗粒密度增大, 导致颗粒之间相互影响和制约的作用力增强, 使得对电子的吸附能力减弱. 图 2 也表明, 尘埃颗粒半径越小, 有效接触面积就越大, 集体效应越显著, 对电子的吸附越强. 图 3 给出了不同半径、不同密度时电荷数目涨落曲线, 其中 α_d 由小到大依次为 $10^{-3}, 10^{-2.5}, 10^{-2}, 10^{-1.5}$. 从图 1 可以看出, 当 α_d (可表征尘埃颗粒的密度) 增加时, 尘埃颗粒的带电量在逐渐下降, 在 $[10^{-5} - 10^{-4.5}]$ 区域内下降最快, 随后下降趋势减缓. 从图 2 中可以看出, 随着 α_d (尘埃颗粒密度) 增加, 鞘层边界处单位体积内尘埃颗粒与离

子的电荷比逐渐下降, 而且在尘埃颗粒半径 (r_d) 增加的情况下, 这种下降趋势更为明显. 从图 3 中可以看出, 尘埃颗粒半径的增大会导致电荷数目出现

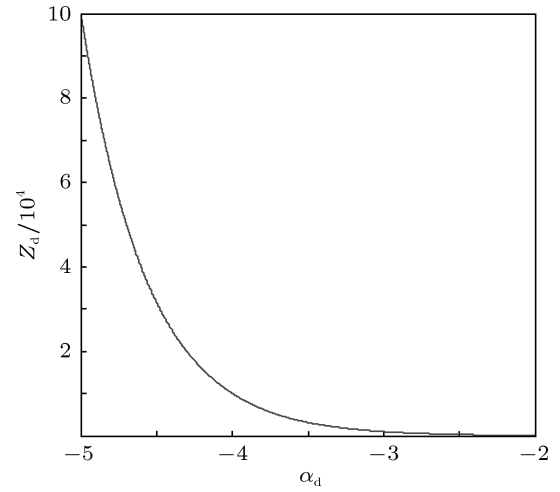


图 1 Z_d 随 α_d (对数坐标) 变化曲线

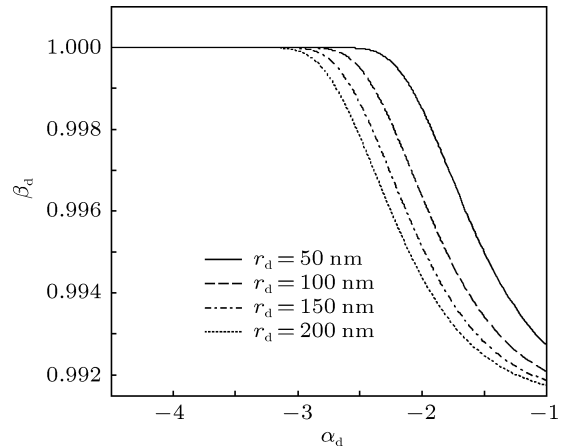


图 2 β_d 随 α_d (对数坐标) 变化曲线

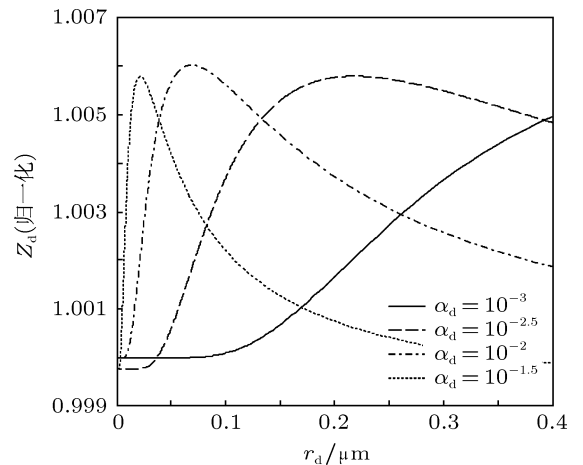


图 3 尘埃半径对颗粒荷电量涨落的影响

涨落, 随着尘埃密度的增加, 最大电荷数目的位置向鞘层边缘处偏移. 对造成这种现象的解释: 尘埃颗粒半径 (r_d) 很小时, 尘埃颗粒间的平均距离远远大于尘埃颗粒的平均自由程 ($d \gg \lambda_D$), 颗粒间的相互作用可忽略, 此时, 随着颗粒半径的增大, 与电子接触的有效面积增大, 从而使电荷量增长; 而当 r_d 超过一定阈值时, 颗粒间距 d 与 λ_D 可比拟, 颗粒间将产生相互作用, 使电子受到排斥甚至抵消, 进而引发了电荷量的再次降落. 图 1 至图 3 主要探讨了尘埃颗粒的一个重要性质: 电荷涨落现象. 尘埃颗粒的电荷是一个可变的动力学参量, 与颗粒的大小、温度均有一定的关系, 等离子体密度、电势等其他参量对电荷涨落及波动性质均可造成极大的影响 [7].

3.2 玻姆鞘层判据

玻姆鞘层判据 (Bohm criterion of sheath) 是尘埃等离子体物理中衡量鞘层稳定性的重要判据, 它是在无碰撞、双流体模型中得到的鞘层稳定存在的必要条件 [22], 玻姆判据的相关研究 [23-28] 在尘埃颗粒与等离子体鞘层的相互作用中有着不可忽视的意义与作用.

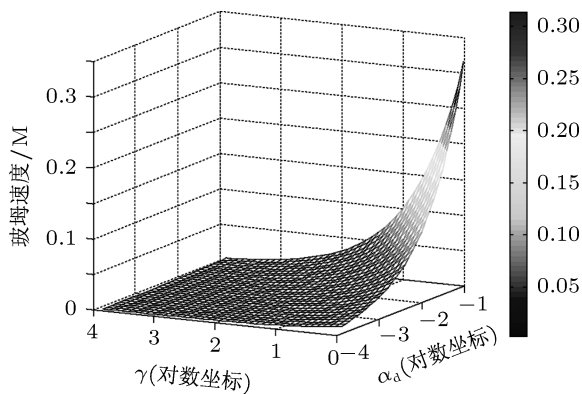


图 4 Bohm 速度随 α_d, γ 变化关系图

将 (7) 式在 $\eta = 0$ 处进行泰勒级数展开, 做二阶近似并结合边界条件 $\left. \frac{d\eta}{d\xi} \right|_{\eta=0} = 0$, 尘埃等离子体鞘层的玻姆判据如下:

$$M^2 = \frac{1}{1 - \beta_d + \beta_d Z_d \gamma}. \quad (12)$$

从图 4 中可以看出 α_d, γ 对进入等离子体鞘层的离

子玻姆速度 M 的影响, 图中 α_d, γ 均采用以 10 为底的对数坐标. γ 增大, 即尘埃颗粒温度 T_d 降低, M 减小; 而随着 α_d 的增加, M 增大. 当尘埃颗粒温度下降后, 对进入鞘层的离子拖曳力减弱, 故只需较小的进入速度即可; 而尘埃颗粒密度增加, 对进入的离子产生较大的束缚, 进而使其需要更大的玻姆速度来打破此种条件的限制, 尤其是在尘埃颗粒密度接近离子密度时.

3.3 粒子分布特性

通过采用四阶龙格 - 库塔 (Runge-Kutta) 法, 编制相关程序, 数值模拟 (7) 式就得到了鞘层电势的空间分布特性. 从图 5 可以看出, 随着空间距离的增加, 电势绝对值增大, 且在接近下部电极区时电势降落速度加快, 根据电势与电场 ($E = -\nabla\phi$) 的关系, 可以看出随着距离增加, 电场也在逐渐增强. 鞘层电势一定 (-55 V), γ 越大, α_d 越小, 即尘埃颗粒温度越低、数密度越小, 鞘层厚度越厚. 电子、尘埃颗粒及离子在鞘层中分布特性数值模拟结果见图 6 至图 8 所示. 图 6 至图 8 反映出鞘层中存在粒子的归一化分布特性, 在鞘层上边缘, 电子和离子存在最大密度, 当向下电极接近时, 粒子密度呈指数下降趋势; 而对尘埃颗粒而言, 鞘层中出现了粒子数密度的临界峰值. 当 α_d 减小时, 即鞘层边缘尘埃颗粒密度下降, 离子密度分布相应减小, 而其余两种粒子由于各种复杂的动力学特性导致变化规律较为复杂, 但始终满足准中性条件. 由于鞘层电场的作用, 尘埃颗粒主要聚集在鞘层边缘附近, 在距离鞘层上边缘 0.3 mm 的地方, 其密度达到最大. 电子和离子的密度在鞘层上边缘开始下降, 在距离鞘层上边缘 $1-3 \text{ mm}$ 的区域下降趋势尤为明显, 其后放缓, 在逐渐接近下极板的时候达到最小值. 从图 5 至图 8 可以看到有尘埃颗粒存在情况下, 鞘层附近的各种粒子 (离子, 电子以及尘埃颗粒) 的分布规律: 电子, 离子在鞘层附近呈指数衰减; 尘埃颗粒主要集中于鞘层附近, 在某一区域达到最大. 这种规律的存在主要是因为尘埃颗粒的存在对鞘层电场起到了一定的影响, 随着尘埃颗粒温度增加、密度增加, 鞘层厚度变得越来越薄. 这些结果对于工业生产过程如何控制尘埃颗粒对于生产工艺的影响可能会起到一定的积极作用.

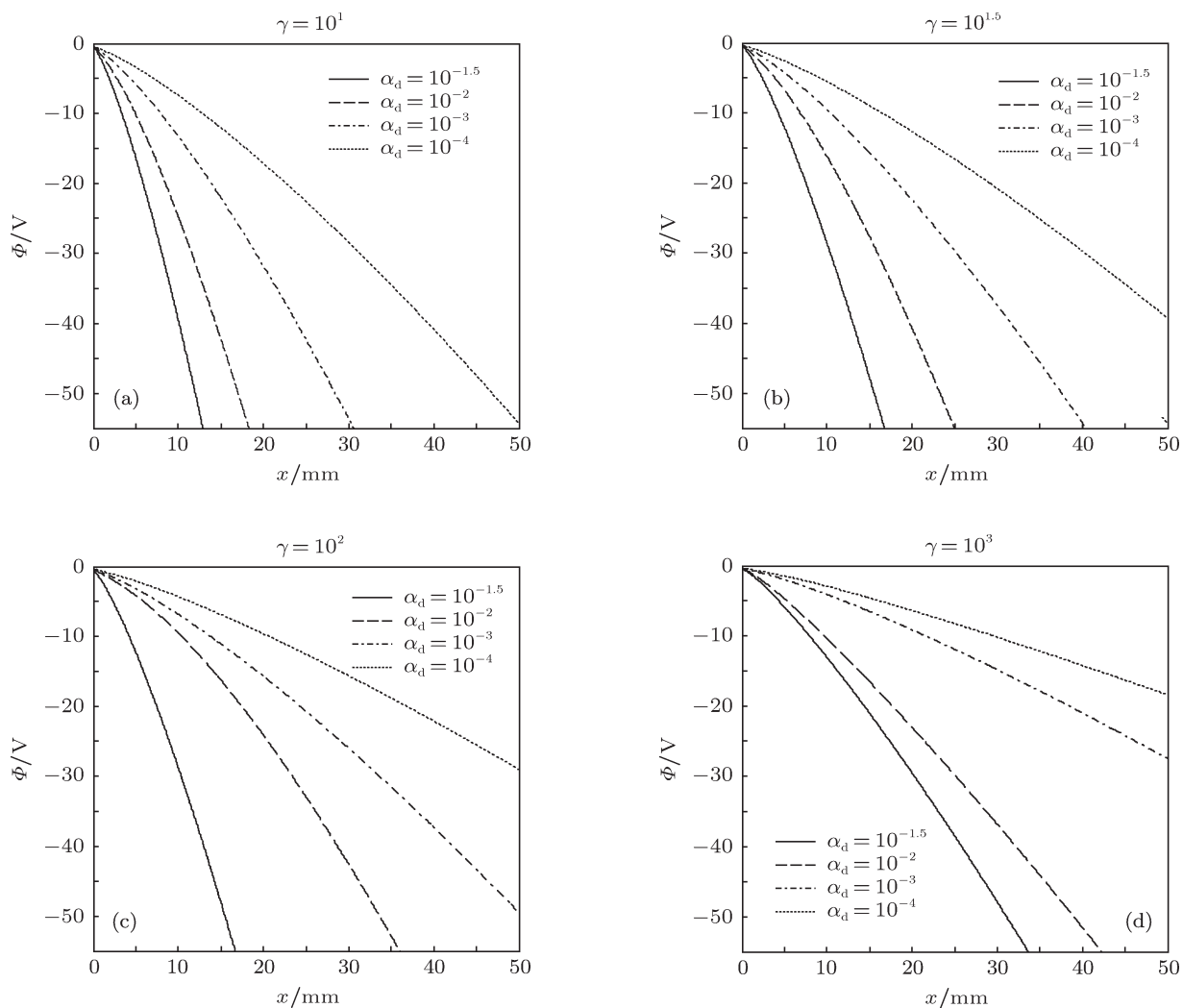


图5 鞘层电势空间变化曲线

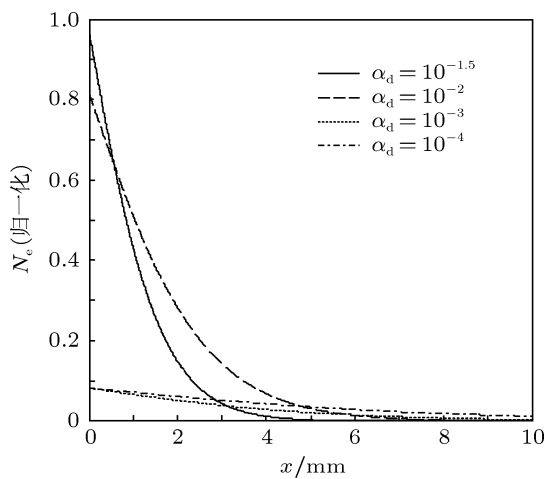


图6 鞘层区电子数密度分布特性

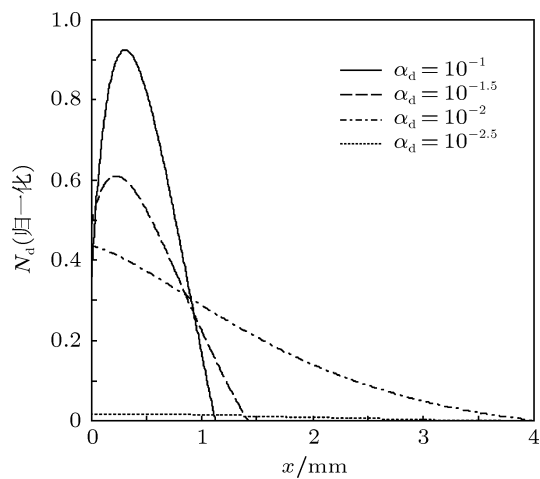


图7 鞘层区尘埃颗粒数密度分布特性

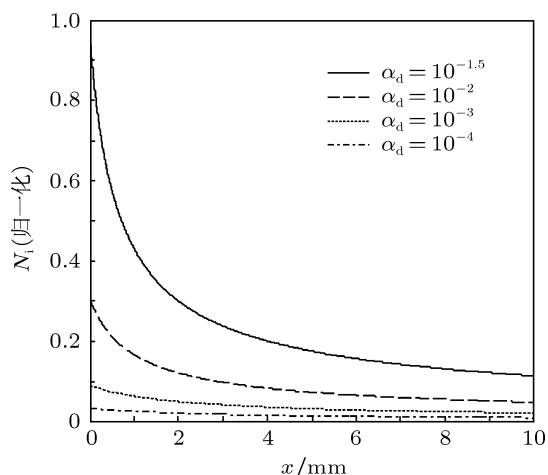


图8 鞘层区离子数密度分布特性

4 结论

通过理论分析建立了稳态无碰撞平板鞘层模型, 通过数值模拟的方法系统研究了鞘层电势分布、电荷涨落现象、玻姆判据及鞘层粒子的分布特性, 并给出了相应的物理解释. 本文模拟的分布

特性可总结为以下方面: 1) 随着尘埃颗粒密度的增加, 孤立尘埃颗粒对电子吸附性能和集体效应在一定程度上都受到削弱. 2) 尘埃颗粒对电子吸附能力与颗粒半径有关, 可以通过物理或化学工艺获得合适大小的颗粒来获得最佳的荷电性质, 进而实现特殊的功能. 3) 尘埃温度升高, 颗粒密度增大均可导致离子玻姆速度的增大. 4) 电势在鞘层中下电极附近降落迅速, 电场的变化趋势与之一致. 5) 鞘层厚度受到颗粒密度和尘埃温度的双重影响, 一般情况下 (符合工业生产标准), 低温、低密度的尘埃颗粒有利于鞘层厚度的增加. 6) 鞘层区三种粒子的分布特性满足准中性条件, 空间尺度上电子和离子均呈指数型衰减, 而尘埃颗粒存在临界层, 多数粒子集中在鞘层中上部. 通过对所研究的尘埃等离子体鞘层模型进行系统的模拟, 可以得到上述一系列的结果, 这些结果的获得可以为工业生产中尘埃颗粒的一些特性研究 (例如, 等离子体刻蚀过程中尘埃颗粒的污染, 以及 PEVCD 过程中尘埃颗粒的生长等) 提供了理论基础, 为进一步生产实践提供了便利条件.

- [1] Laifa Boufendi, Andre Bouchoule 2002 *Plasma Sources Science and Technology* **11** A211
- [2] Irving Langmuir, Found C G, Dittmer A F 1924 *Science* **60** 392
- [3] Roth R M, Spears K G 1985 *Appl. Phys. Lett.* **46** 253
- [4] Selwyn G S 1994 *Plasma Source Sci. Technol.* **3** 340
- [5] Jellum G M, Graves 1990 *Appl. Phys. Lett.* **57** 2077
- [6] Watanabe Y, Shiratani M, Makino H 1990 *Appl. Phys. Lett.* **57** 1616
- [7] Ma J X 2006 *Wuli(Physics)* **35** 244 (马锦秀 2006 物理 **35** 244)
- [8] Thomas H, Morfill G E, Demmel V 1994 *Phys. Rev. Lett.* **73** 652
- [9] Barkan A, Merlino R L, D'angelo N 1995 *Phys. Plasma.* **2** 3563
- [10] Vaulina O S, Nefedov A P, Fortov V E F 2001 *Cosmic Research* **39** 347
- [11] Vaulina O S, Petrov O F, Fortov V E 2002 *29th EPS Conference on Plasma Phys. and Contr. Fusion Montreux*
- [12] Liu Y 2007 *Ph. D.* (Dalian: Dalian University of Technology) (in Chinese) [刘悦 2007 博士学位论文 (大连: 大连理工大学)]
- [13] Huang F, Ye M X, Wang L 2006 *Science in China G* (in Chinese) (in Chinese) [黄峰, 叶茂福, 王龙 2006 中国科学 G 辑 **36** 356]
- [14] Wu J, Zhang P L, Song Q L 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 4794 (in Chinese) (吴静, 张鹏云, 宋巧丽 2005 物理学报 **54** 4794)
- [15] Misawa T, Ohno N, Asano K 2001 *Phys. Rev. Lett.* **86** 1219
- [16] Melzer A, Nunomura S, Samsonov D 2000 *Phys. Rev. E* **62** 4162
- [17] Hou L J, Wang Y N, Mišković Z L 2004 *Phys. Rev. E* **70** 56406
- [18] Shukla P K 2003 *Phys. Plasmas* **10** 1619
- [19] Gu L 1997 *Advances In Mechanics* **27** 56 (in Chinese) [顾琅 1997 力学进展 **27** 56]
- [20] Hou L J 2005 *Ph. D.* (Dalian: Dalian University of Technology) (in Chinese) [侯璐景 2005 博士学位论文 (大连: 大连理工大学)]
- [21] Duan P, Liu J Y 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 7090 (in Chinese) [段萍, 刘金远 2007 物理学报 **56** 7090]
- [22] Gu Y P, Ma T C 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 1196 (in Chinese) [谷云鹏, 马腾才 2003 物理学报 **52** 1196]
- [23] Wand Z X, Liu J Y 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 793 (in Chinese) [王正涵, 刘金远 2004 物理学报 **53** 793]
- [24] Harrison E R, Thompson W B 1959 *Proc. Phys. Soc. London.* **74** 145
- [25] Riemann K U 1995 *IEEE Transaction on Plasma Science* **23** 709
- [26] Andrews J G, Stangeby P C 1970 *Phys. A: Gen. Phys.* **3** L39
- [27] Deutsch R, Rauchle E 1992 *Phys. Rev. A* **46** 3442
- [28] Valentini H B 1996 *Phys. Plasmas* **3** 4754
- [29] Gao B, Liu Y 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 045201 (in Chinese) [高碧荣, 刘悦 2011 物理学报 **60** 045201]
- [30] Zhao X Y, Liu J Y, Ni Z X, Duan P 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 045205 (in Chinese) [赵晓云, 刘金远, 段萍, 倪志祥 2011 物理学报 **60** 045205]
- [31] Wu J, Zhang P Y, Wang D Z 2008 *Nuclear Fusion and Plasma Physics* **28** 40 (in Chinese) [吴静, 张鹏云, 王德真 2008 核聚变与等离子体物理 **28** 40]
- [32] Li J W, Li Z Y 2004 *Chinese J. of Space Science* **24** 321 (in Chinese) [李嘉巍, 李中元 2004 空间科学学报 **24** 321]

Simulation of interaction between dust particles and plasma sheath and its distribution*

Wu Jing^{1)2)†} Liu Guo¹⁾ Yao Lie-Ming¹⁾ Duan Xu-Ru²⁾

1) (*School of Physical Electronics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China*)

2) (*Southwestern Institute of Physics, Chengdu 610041, China*)

(Received 28 April 2011; revised manuscript received 23 June 2011)

Abstract

Collisionless steady plasma sheath model is taken into account to study the interaction between dusty particles and plasma sheath as well as the density distributions of electrons, ions and dusty particles. Numerical simulation results are obtained, showing that the ability of an isolated charge to absorb electrons weakens with the increase of dusty particle density and its temperature, while the collective effect strengthens with the radius of dusty particle. Simultaneously, Bohm velocity and the sheath thickness are also greatly affected. The sheath potential decreases significantly and the E -field is stronger near the electrode. In addition, the densities of electrons and ions reduce exponentially but the dusty particle has a critical value. The three particles satisfy the quasi-neutrality condition.

Keywords: plasma sheath, dust particles, charges fluctuation, specie density distribution

PACS: 52.27.Lw, 52.25.-b, 52.70.-m

* Project supported by the National Basic Research Program of China ITER Program (Grant No. 2009GB107004), and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (Grant No. ZYGX2010J056).

† E-mail: wujing@uestc.edu.cn