

放电参数对同轴枪中等离子体团的分离的影响

张俊龙 杨亮 闫慧杰 滑跃 任春生

Influence of discharge parameters on blow-by in a coaxial plasma gun

Zhang Jun-Long Yang Liang Yan Hui-Jie Hua Yue Ren Chun-Sheng

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 075201 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.075201

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.075201>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I7>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于克尔效应的真空绝缘子表面电场在线测量

On-line measurement on surface electric field of insulator in vacuum based on Kerr effect

物理学报.2014, 63(9): 095207 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.095207>

界面张力对 Rayleigh-Taylor 不稳定性的影响

Effects of surface tension on Rayleigh-Taylor instability

物理学报.2013, 62(21): 214702 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.214702>

平面撞击流偏斜振荡的实验研究与大涡模拟

Large-eddy simulation and experimental study of deflecting oscillation of planar opposed jets

物理学报.2013, 62(8): 084704 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.084704>

EAST 超导托卡马克装置真空室壁处理的研究

Wall cleanings for pre-treatment on EAST

物理学报.2012, 61(20): 205203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.205203>

放电参数对同轴枪中等离子体团的分离的影响

张俊龙 杨亮 闫慧杰 滑跃 任春生[†]

(大连理工大学物理与光电工程学院, 大连 116023)

(2014年8月27日收到; 2014年10月19日收到修改稿)

同轴枪中的等离子体团的分离现象主要是由同轴枪内磁场的梯度造成的电流层倾斜而引起的一个增强反馈过程导致的, 这种分离现象越来越成为限制同轴枪有效使用的一个不利因素. 在实验上研究放电参数对等离子体团的分离的影响, 对理论研究和实际应用都具有重要意义. 在实验中发现, 利用光电倍增管可以直接观察到等离子体团的分离程度, 由此可以研究放电参数对等离子体团的分离的影响. 本实验主要研究电容充电电压、电容、放电气压这三个参数对分离现象的影响. 实验发现, 分离程度随着电容以及其充电电压的增大而增强, 随着气压的增大而减弱. 实验结果基于雪梨模型进行分析, 电容以及电容充电电压的增大使放电电流增强使磁场梯度增大而导致电流层的倾斜程度增加, 而使等离子体团的分离程度变严重, 相反, 气压的增加使需要加速更多粒子而导致电流层的倾斜程度减弱, 而使等离子体团分离程度减弱. 分析认为, 通过控制在加速过程中影响电流层倾斜程度的因素可控制共轴枪中等离子体团的分离程度.

关键词: 同轴枪, 等离子体团的分离, 光电倍增管, 雪梨模型

PACS: 52.80.Vp, 47.20.-k, 29.25.Ni, 07.05.Dz

DOI: 10.7498/aps.64.075201

1 引言

同轴枪, 又被称为等离子体枪, 最初由 Marshall 设计用于高温核聚变研究^[1]. 由于该装置电极结构简单, 而且产生的等离子体具有高速度、高密度、高温等许多独特优点^[2-6], 越来越多的领域对此进行研究, 如斯坦福大学利用同轴枪研究空间磁等离子体推进技术^[7-9], 洛斯阿拉莫斯国家实验室利用同轴枪产生的等离子体研究较大尘埃颗粒在高密度等离子体中的运输过程^[10-12], 国内中科院物理所和空间科学与应用中心利用同轴枪产生的等离子体团将微小颗粒加速到高速, 用于模拟太空中尘埃粒子对卫星表面材料的撞击效应^[13-15]. 除此之外, 在高温核聚变、离子注入以及大面积材料处理方面都有许多应用^[16,17]. 同轴枪由两个电极构成, 分别为一个中心内电极和一个外电极. 最初设计两电极都是圆柱形且两电极间不加外磁场, 但随着研究的深入将共轴枪的设计有许多新的改进, 如斯坦福大学的 Cheng 基于爆燃假说将

外电极改为圆锥形, 使产生的等离子体速度更高, 而且等离子体聚集程度更高, 对等离子体空间推进技术具有重要意义. Witherspoon 等将内电极改为波浪形, 消除产生等离子体的不稳定性, 使喷出去的等离子体速度最高可达 200 km/s^[18], 也有研究给同轴枪提供外磁场以达到更特殊的目的^[19,20]. 通过给两电极加一高电压, 两电极之间的气体将会被击穿产生等离子体. 产生的等离子体相当于电流层将两电极连接形成一个电回路, 电路中的电流会高达几千到几万安培, 在功率更大的实验中甚至更高. 通过中心电极的电流会产生非常强的角向磁场, 而电极间的电流方向为径向方向, 使电极间的等离子体受到非常强的轴向洛伦茨力被喷出去. 目前, 关于等离子体团如何被加速的模型被广泛接受的是雪梨模型^[21,22].

但是同轴枪中有一个问题引起了人们越来越多的关注, 由于通过中心电极的电流产生的磁场强度会随离中心电极距离 r 的增大而衰减, 使内电极处的等离子体团受到的力的大于外电极处所受到的力而产生速度差, 当内外电极处的等离子体

[†] 通信作者. E-mail: rchsh@dlut.edu.cn

速度差异大到一定程度时, 等离子体团被撕裂成两团被分别喷出去, 导致等离子体团的分离. 等离子体团的分离的发生对同轴枪的应用具有非常不利的影响, 如利用同轴枪加速微小颗粒, 由于等离子体团的分离, 会对微粒的加速效果产生严重的不利影响, 在利用同轴枪空间推进方面, 电流层的倾斜会降低能量利用效率, 使推进效果变差, 因此对影响同轴枪中的等离子体团的分离的因素进行探究具有重要的实际应用价值^[23-25]. 目前该问题已引起了人们的广泛研究, 斯坦福大学的Poehlmann发现利用Cheng所介绍的等离子体爆燃模型可以消除等离子体团的分离, 但是这种放电方式所要求的高真空 10^{-4} Pa主要针对太空环境, 对实际应用是一个非常苛刻的条件等^[7]. Witherspoon将内电极改为波浪状, 以求在传播过程减弱等离子体团的分离的出现^[18]. 除了研究改变电极结构和放电方式外, 研究改变放电参数对等离子体团的分离的影响对实际工程应用中通过选择合适工作参数有效控制等离子体团的分离具有十分重要意义, 尤其在利用同轴枪加速微小粒子方面^[26]. Cassibry等利用MACH2软件研究了放电参数, 如初始气体密度分布、驱动电流大小、电感梯度以及内外半径比对等离子体团的分离的影响^[23]. 但是在实验上研究放电参数对等离子体团分离的影响还很少见, 主要原因是在实验中很难观察到等离子体团的分离程度. 我们首次利用光电倍增管研究这个问题, 发现利用光电倍增管可直接观察到等离子体团的分离现象以及分离的程度, 利用光电倍增管可以将经过光纤探头处等离子体发出的光转化为光电流, 光电流的波形可反映经过此处等离子体团是否发生分离以及分离的程度. 本文主要利用光电倍增管研究放电参数对等离子体团分离程度的影响, 填补了通过实验手段研究放电参数对等离子体团分离的影响这方面的空白. 实验中, 分别研究了电容充电电压、电容大小以及气体气压对等离子体团的分离的影响, 并基于雪梨模型对实验结果进行分析.

2 实验装置

图1为实验装置原理图, 从左往右依次为电容器组、同轴枪电极、加速通道和真空腔. 与同轴枪相接的电源由四个电容组成, 每个电容为 $60\ \mu\text{F}$, 而且接入电路的电容个数是可调的. 在实验, 中心电极与阳极相连接, 外电极与阴极相连, 另外有一个

强流脉冲发生装置可对电容进行充电并控制放电的发生. 对电容充电电压最大可达 $10\ \text{kV}$, 最大电流可达几十 kA . 同轴枪的内电极直径为 $20\ \text{mm}$, 长为 $190\ \text{mm}$, 外电极内径为 $80\ \text{mm}$. 加速通道的直径为 $147\ \text{mm}$, 长度为 $800\ \text{mm}$, 加速通道侧面有一观察窗, 实验中将光电倍增管固定于此可采集通过此处等离子体团的光电流. 真空腔为圆柱形, 直径为 $505\ \text{mm}$, 高为 $600\ \text{mm}$. 实验中测量手段主要有三种, 分别为光电倍增管(P30A-05), 高压探头(Tektronix P6015A)和Pearson电流探头. 光电倍增管的光纤探头被放置在在加速通道侧面的观察窗处, 这样可以测到等离子体团在传播过程中经过此处光电流强度的变化, 通过光电流波形可以反映喷出的等离子体团的形态. 利用高压探头测量两电极间的电压, 电流探头套在连接中心电极与电容的电线上. 光电倍增管, 电流探头和电压探头分别与示波器(Tektronix DPU4104)相连接. 与高压探头相接的示波的器通道设置为触发通道, 当高压探头电压超过一定电压时, 示波器被触发并记录波形和数据, 为了避免噪音干扰引起触发, 只有当两电极间的电压超过 $800\ \text{V}$ 时方可触发示波器记录数据.

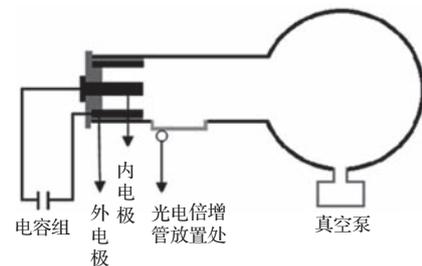


图1 实验装置原理图

3 等离子体团分离的机理

关于等离子体的产生和加速的模型被广泛认可的是雪梨模型^[21,22]. 当控制电源的触发开关被触发时, 内电极与外电极之间的电压会迅速增大, 并将两电极之间的气体击穿变成等离子体. 雪梨模型将初始被电离产生的等离子体近似为分布均匀的薄层, 该等离子体薄层相当于电流层将两电极连成一个闭合回路. 通过中心电极的强电流在其周围产生非常强的角向磁场 B_θ , 电流层中的径向电流 J_r 将会在角向磁场 B_θ 中受到非常强的轴向的洛伦茨力 $F_z = J_r \times B_\theta$, 使等离子体在磁压的作用下被推出, 磁压的大小为 $\frac{B_\theta^2}{2\mu_0}$. 在加速的过程中, 与

电流层相接触的所有中性粒子都会被电离并被一起加速, 因此该等离子体薄层在前进过程中, 所加速的粒子越来越多, 因此被称为雪梨模型^[21,22], 如图 2(a) 所示, 当两电极之间的电流层将电路连成回路后, 可以将同轴枪等效成一个电感, 单位长度电感大小为 $\frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{r_0}{r_1}$, 其中 r_0 为外电极半径, r_1 为内电极半径, 另外考虑传输线之间的电感和传输线的电阻, 可以将回路近似等效为一个 RLC 电路, 如图 2(b) 所示^[21,22]. 这样雪梨模型通过建立了一个宏观电回路模型将放电电路的参数与放电时的电流以及等离子体团受到的力联系起来. 图 3 为实验电容分别为 120, 180, 240 μF 的电流波形, 电流波形为阻尼震荡形式, 而且对应周期分别为 130, 155, 183 ms, 其电流波形以及不同电容状态下的周期比值都与 RLC 电路理论相符合, 因此本实验电路可等效为一个 RLC 电路并可利用雪梨模型解释. 但是, 雪梨模型主要侧重于宏观电回路角度, 而关于等离子体团在前进过程中如何受到磁场梯度的影响却没有考虑.

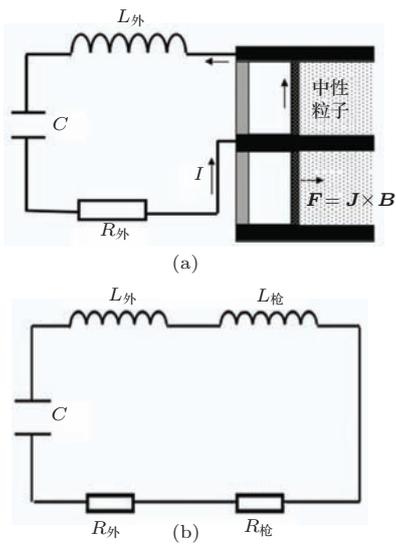


图 2 (a) 雪梨模型图示; (b) 雪梨模型下的等效 RLC 回路

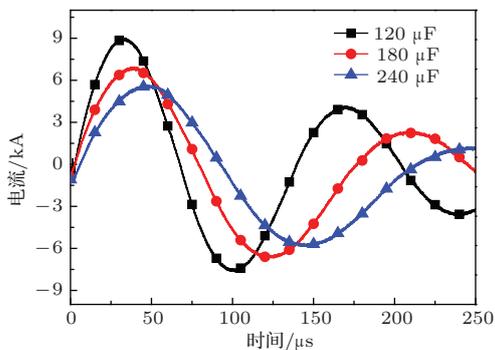


图 3 (网刊彩色) 不同电容对应的电流波形

由安培环路定律可知, 通过中心电极的电流产生的角向磁场 B_θ 随着离中心电极中心轴的距离 r 而衰减, 因此等离子体团受到的磁压 $B_\theta^2/(2\mu_0)$ 随着 $1/r^2$ 而衰减. 这样将造成在不同 r 处, 等离子体团受到的磁压力大小不同, 中心电极处的等离子体团受到的力要大于外电极处所受到的力. 所以等离子体团在前进过程中, 靠近内电极处的等离子体要比相对远离内电极处的等离子体前进的距离更远一些, 即电流层在前进过程中会发生倾斜. 而倾斜的电流层导致原来的径向电流 J_r 产生一轴向电流分量 J_z , 轴向电流分量 J_z 在角向磁场 B_θ 中受到另外一个径向的洛伦茨力 $F_r = J_z \times B_\theta$, 而且力的方向指向外电极. 这样将使内电极处的一部分等离子体向外电极输运, 导致内电极处的等离子体团质量变小而外电极处的等离子体团质量增大, 这样使电流层更加倾斜并使轴向电流分量 J_z 增大, 使更多的等离子体从内电极向外电极输运, 导致电流层更严重的倾斜, 这种增强反馈过程不仅使电流层的倾斜程度越来越严重, 而且使内外电极处带电粒子数的差异越来越大, 最终导致内外电极处的等离子体的速度差异越来越大. 当不同处等离子体的速度差异达到一定程度时, 等离子体团会撕裂成为两团分别被喷出去.

4 实验设计

光电倍增管可以将等离子体团发出的光转化为光电流并在示波器上读出. 利用光电倍增管转化的光电流可以观察等离子体团是否发生了分离以及分离的程度. 当等离子体团没有发生分离作为一个整体喷出时, 得到的光电流波形中仅有一个峰. 当等离子体团分离为两团分别喷出去时, 得到的光电流波形中有两个峰, 而且每个峰分别对应一个等离子体团. 光电流波形中峰的高度代表光的强度而峰的宽度代表等离子体团通过光纤探头的时间, 因此, 峰的高度可反映出等离子体团通过光电倍增管的光纤探头时粒子流密度的高低, 峰的宽度可反映出等离子体团轮廓的相对大小. 因此第二个峰相对于第一个峰的轮廓大小可以定性的描述为等离子体团分离的严重程度. 这样, 不仅可以利用光电倍增管观察等离子体团是否发生了分离, 而且可通过比较分离后两等离子体团对应的光电流峰的轮廓来反映分离的严重程度. 图 4 为实验中等离子体团发生分离后的光电流波形, 图中第一个峰对应的是内电极处的等离子体团, 第二个峰对应外电极处

的等离子体团.

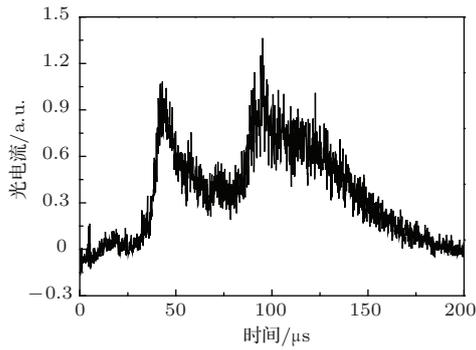


图4 等离子体团的分离图

通过对等离子体团分离机理的讨论可知, 导致等离子体团的分离的主要原因是由磁场的梯度造成的电流层的倾斜而引起的一个增强反馈过程, 因此能够影响电流层倾斜的放电参数都有可能对等离子体团的分离造成影响. 由雪犁模型可知, 放电后两电极间的电流层将两电极接通并形成一个 RLC 回路, 所以电容充电电压和电容大小可能会对回路中的电流造成影响而影响磁场的梯度进而影响电流层的倾斜程度. 由于等离子体团在前进过程中会电离前面的中性粒子并将之加速, 进而影响加速度的大小, 所以中性气体的密度有可能对电流层的倾斜程度造成影响. 实验中分别从电容充电电压、电容大小、放电气压三个方面研究放电参数对等离子体团分离的影响.

4.1 电容充电电压的影响

为比较电容充电电压对等离子体团分离的影响, 保持电容恒定 $240 \mu\text{F}$, 气压恒定为 4.5 Pa . 分别将电容充电电压设定为 2850 V , 3350 V , 3650 V , 5300 V 进行比较, 实验结果如图 5 所示. 通过观察光电流波形可知, 在 2850 V 时得到的光电流波形中只有一个峰, 说明等离子体团作为一个整体喷出去, 没有发生分离. 当充电电压增加到 3350 V 时, 出现了第二个峰, 说明此次加速过程等离子体团已发生分离. 但是相对第一个峰, 第二个峰还比较弱, 说明被分离出去的外电极处的等离子体团相对于内电极处的等离子体团包含的粒子还比较少, 所以说此时在加速过程中从内电极处输运到外电极处的等离子体还很少. 但是当电容充电电压增大到 3650 V 时, 第二个峰已变强. 说明与 3350 V 相比, 已有更多的粒子输运到外电极, 使外电极处的等离子体团变大, 此时第一个峰依然强于第二个峰. 当电容充电电压增大到 5300 V 时, 第二个峰已变得更强而且大于第一个峰, 说明此时已有大量的粒子从内电极输运到外电极. 通过比较 4 个图像可知, 当电容充电电压低于一定电压时, 等离子体团不会发生分离, 随着电容充电电压的增大, 会使输运到外电极处的等离子体越来越多, 导致等离子体团的分离并变的越来越严重.

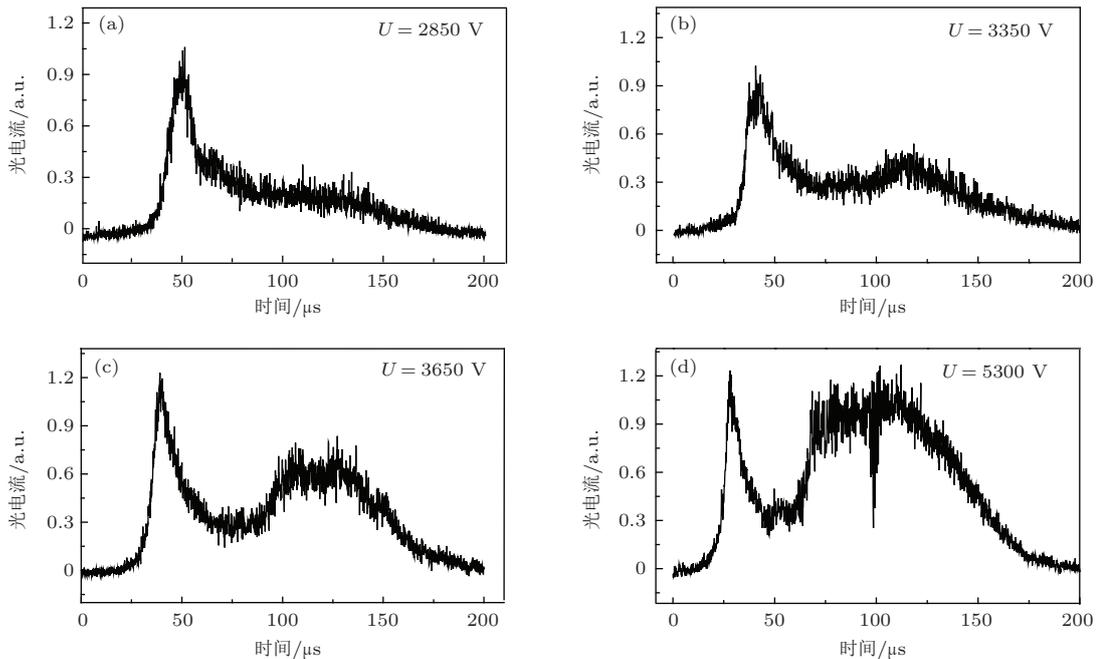


图5 分离程度随电压的变化

当电容充电电压增大时, 电源中储存的电荷也增加, 由雪犁模型可知, 放电时通过中心电极的电流 I 也会增大. 这样通过内电极的电流产生的磁场也增强, 这样不仅使等离子体团受到的磁压 $B_\theta^2/(2\mu_0)$ 增大, 而且使磁压在径向的梯度 $I^2/(4\pi^2r^3)$ 也增大, 这将导致电流层更加倾斜, 使电流的轴向分量 J_z 增大, 使更多的带电粒子向外电极输运, 导致电流层的倾斜更加严重. 所以电容充电电压的增加增强了反馈的效果, 使电流层更加倾斜, 导致等离子体团的分离程度随电压的增大而变得更加明显.

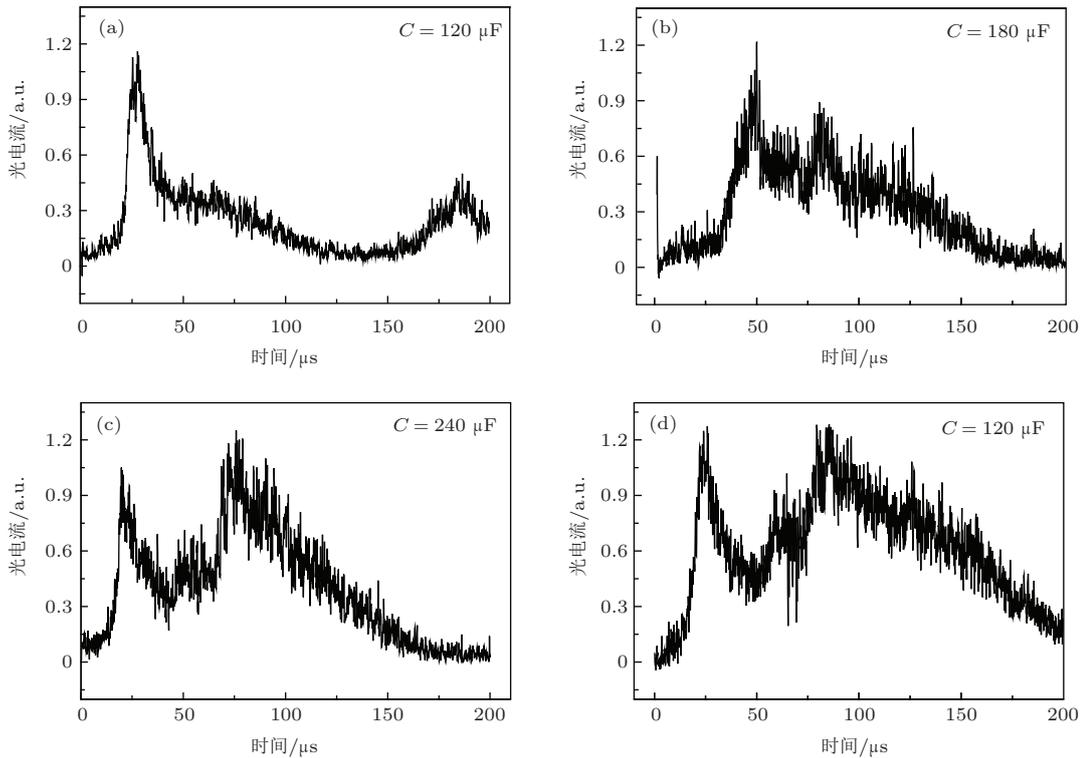


图6 分离程度随电容的变化

当充电电压相同时, 电容越大, 储存的电荷越多, 在放电时回路中的就电流越强, 使电流层更加倾斜, 则使电流的轴向分量 J_z 增大, 会使更多的带电粒子向外电极输运, 导致等离子体团的分离程度更加明显, 与4.1中讨论的增大电容充电电压情况相似. 所以电容的增大同样可以增强反馈的效果而使电流层的倾斜越来越严重, 使等离子体团的分离程度增强. 为了研究电容中储存的电荷是否是造成电容及其充电电压增大导致分离程度增强的主要原因. 选电容为 $120 \mu\text{F}$ 而充电电压为 5600 V 实验, 与电容为 $240 \mu\text{F}$ 而充电电压为 2800 V 实验对比, 两次实验电源储存相同的电荷, 实验结果如图6(c)

4.2 电容大小的影响

为了研究电容大小对等离子体团分离的影响, 将气压恒定为 1.9 Pa , 电容充电电压定为 2800 V , 电容分别为 $120, 180, 240 \mu\text{F}$. 实验结果分别对应图6(a), (b), (c). 对比图6(a), (b), (c)可以发现, 当电容为 $120 \mu\text{F}$ 时, 等离子体团没有发生分离, 当电容为 $180 \mu\text{F}$ 时, 第二个峰出现, 但还比较弱, 当电容增大到 $240 \mu\text{F}$ 时, 第二个峰已变得相当强. 由此可得, 随着电容的增大, 等离子体团的分离程度会逐渐增强.

和(d)所示, 对比两图可知等离子体团发生的分离程度基本相同, 可见电源中电荷的储存量是影响等离子体团的分离程度的主要原因, 但是由于目前还不能完全的纯定量描述, 无法描述两次发生的分离程度是否完全相同, 所以关于相同电荷情况下, 不同的电容和电容充电电压引起的回路电流周期以及峰值的变化对等离子体团的分离是否有影响还无法确定, 仍需进一步研究.

4.3 放电气压的影响

为了比较放电气压对层流的影响, 保持电容恒定 $240 \mu\text{F}$, 电容充电电压恒定为 3600 V , 将放电气

压分别设 1.9, 4.5, 9.0, 35 Pa. 实验所得结果如图 7 所示, 通过对比图像可知, 随着初始气压的增大, 等离子体团的分离逐渐变弱, 到 9.0 Pa 时第二个峰已变得很弱, 到 35 Pa 时, 第二个峰已经消失, 等离子体团作为一个整体被喷出去.

由于充电电压和电容都相同, 所以放电电流的强度和周期都相同, 等离子体团所受的磁压以及磁压的梯度也相同, 不会对分离程度造成影响, 所以影响分离程度的主要原因是中性粒子的密度. 当放电气体密度增大时, 等离子体团在前进过程中会电离更多的中性粒子, 导致在前进过程中需要加速更

多的等离子体. 由于需要加速的等离子体质量增大, 而等离子体团受到的力却保持不变, 导致整体的加速度减小, 使内外电极处等离子体团的速度差异变小, 使电流层的倾斜程度也减弱, 使电流的轴向分量 J_z 减小, 这样将减弱粒子从内电极处向外电极处运输的效果, 而且由于在加速过程中已经电离更多的中性粒子导致带电粒子数的增加, 会使内外电极处的这种差异更加不明显, 这样减弱了电流层的倾斜程度, 使等离子体团的分离程度减弱. 所以, 气压的增大对等离子体团的分离具有抑制作用.

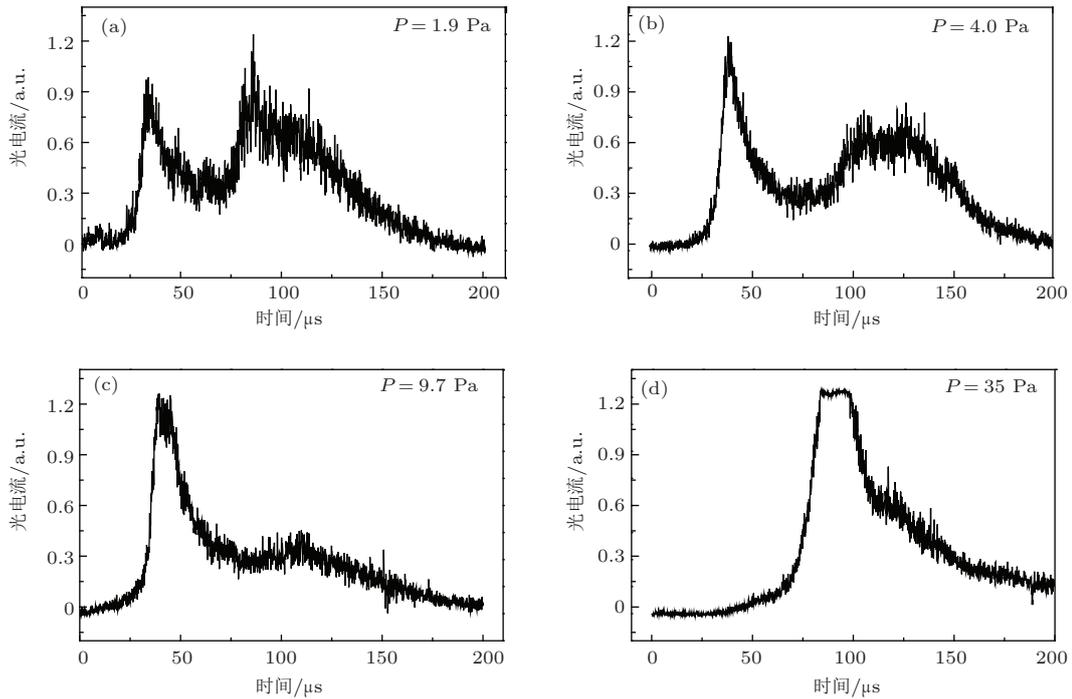


图 7 分离程度随气压的变化

5 结 论

本文通过利用光电倍增管研究了放电参数对等离子体团分离程度的影响, 不仅可为实际工程应用同轴枪选择合适的放电参数以减弱或消除等离子体团的分离提供指导, 而且为实验上研究等离子体的分离现象提供了一种新的实验方法. 通过对等离子体团分离的机理研究, 分析认为引起等离子体团分离的主要原因是由同轴枪内磁场的梯度造成的电流层倾斜而引起的一个增强反馈过程导致的, 放电参数对分离程度的影响主要是通过影响加速过程中电流层的倾斜程度而影响等离子体团的分离程度. 实验发现, 电容充电电压或电容的增大都会导致等离子体团的分离程度增强, 而放电气压的

增大会导致分离程度的减弱. 分析认为电容充电电压或电容的增大, 使电容中储存的电荷增大而使放电电流增强增大了磁场的梯度导致电流层的倾斜加重而使分离程度增强, 而气压的增大使等离子体团加速更多的粒子而减弱电流层的倾斜使分离程度减弱. 因此在实际应用中可以通过控制影响电流层倾斜程度的放电参数而控制等离子体团分离的程度.

参考文献

- [1] John M 1960 *Phys. Fluids* **3** 134
- [2] Zhukeshov A M, Amrenova A U, Gabdullina A T, Ibraev B M 2013 *Amer. J. Phys* **1** 5

- [3] Messer S, Case A, Bomgardner R, varPhillips M, Witherspoon F D 2009 *Phys. Plasmas* **16** 064502
- [4] Mather J W 1965 *Phys. Fluids* **8** 366
- [5] Mather J W 1964 *Phys. Fluids* **7** 28
- [6] Case A, Messer S, Bomgardner R, Witherspoon F D 2010 *Phys. Plasmas* **17** 053503
- [7] Rieker G B, Poehlmann F R, Cappelli M A 2013 *Phys. Plasmas* **20** 073115
- [8] Flavio R, Poehlmann F R, Mark A C, Gregory B R 2010 *Phys. Plasmas* **17** 123508
- [9] Cheng D Y 1971 *AIAA Journal* **9** 1681
- [10] Ticos C M, Wang Z H, Wurden G A, Kline J L 2008 *Phys. Rev. Lett.* **100** 155002
- [11] Ticos C M, Wang Z H, Wurden G A, Kline J L 2008 *Phys. Plasmas* **15** 103701
- [12] Ticos C M, Wang Z H, Gian L D, Giovanni L 2006 *Phys. Plasmas* **13** 103501
- [13] Gao Z X, Feng C H, Yang X Z, Huaug J G 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 145201 (in Chinese) [高著秀, 冯春华, 杨宣宗, 黄建国 2012 物理学报 **61** 145201]
- [14] Han J W, Zhang Z L, Huang J G, Li X Y 2006 *Spacecraft Environment Engineering* **23** 205 (in Chinese) [韩建伟, 张振龙, 黄建国, 李小银 2006 航天器环境工程 **23** 205]
- [15] Cai M H, Wu F S, Li H W, Han J W 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 019401 (in Chinese) [蔡明辉, 吴逢时, 李宏伟, 韩建伟 2014 物理学报 **63** 019401]
- [16] Schoenberg K F, Richard A G, Ronald W M, Jay T S 1998 *Phys. Plasmas* **5** 2090
- [17] Krzysztow Z 1995 *Surface and Coatings Technology* **74** 949
- [18] Witherspoon F D, Andrew C, Sarah J M, Richard B 2009 *Rev. Sci. Instrum* **80** 083506
- [19] Wang Z H, Paul D B, Cris W B, Michael W M 2005 *Review of scientific instruments* **76** 033501
- [20] Inutake M, Ando A, Hattori K, Tobari H 2007 *Plasma Phys. Control. Fusion* **49** 121
- [21] varPhilip J H 1962 *Phys. Fluids* **5** 38
- [22] varPhilip J H 1964 *J. Appl. Phys* **35** 3425
- [23] Cassibry J T, Thio Y C, Wu S T 2006 *Phys. Plasmas* **13** 053101
- [24] Markusic T E, Choueiri E Y, Berkery J W 2004 *Phys. Plasmas* **11** 4847
- [25] Baker K L, Horton R D, Hwang D Q, Evans R W 2002 *IEEE Trans on Plasma Science* **30** 48
- [26] Li H W, Han J W, Wu F S, Cai M H, Zhang Z L 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 019401 (in Chinese) [李宏伟, 韩建伟, 吴逢时, 蔡明辉, 张振龙 2014 物理学报 **63** 019401]

Influence of discharge parameters on blow-by in a coaxial plasma gun

Zhang Jun-Long Yang Liang Yan Hui-Jie Hua Yue Ren Chun-Sheng[†]

(School of Physics and Optoelectronic technology, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

(Received 27 August 2014; revised manuscript received 19 October 2014)

Abstract

The blow-by which occurs in a coaxial plasma gun is the result of reinforcing feedback caused by the gradient of magnetic field and the component of axial current due to the canting of current sheath. The blow-by has become a serious negative effect which limits the effective use of the coaxial plasma gun, so it is necessary to study by experiment the parameters that influence the degree of blow-by. This will not only contribute to the study of the theory and mode about blow-by but also give advices to the weakening or eliminating blow-by by choosing suitable parameters in engineering field. The degree of blow-by can be observed directly by photomultiplier, and the influence of voltage of capacitance, capacitance, and the pressure of gas on blow-by have also been studied. It is shown that the blow-by would become more serious with the increase of capacitance or the voltage of capacitance while it becomes weaker with the increase of gas pressure. These phenomena can be explained based on the snowplow model. We consider that the increase of capacitance or the voltage of capacitance can make the current sheath canting more serious, however it would reduce the degree of current sheath canting with the increase of gas pressure. So the blow-by can be controlled by the parameters which influence current sheath canting.

Keywords: coaxial gun, blow-by, photomultiplier, snowplow model

PACS: 52.80.Vp, 47.20.-k, 29.25.Ni, 07.05.Dz

DOI: [10.7498/aps.64.075201](https://doi.org/10.7498/aps.64.075201)

[†] Corresponding author. E-mail: rchsh@dlut.edu.cn