

微小空间碎片撞击诱发放电效应研究*

李宏伟[†] 韩建伟 蔡明辉 吴逢时

(中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100190)

(2013年7月16日收到; 2013年8月26日收到修改稿)

微小空间碎片超高速撞击航天器表面, 能够抛射出高密度的等离子体云团, 如果撞击发生在航天器的高充电表面或带电部件等敏感区域, 撞击等离子体将会诱发放电, 该机制已经引起了广泛的关注, 但是相关研究还十分欠缺. 本文利用等离子体驱动微小碎片加速器加速 200 μm 的微粒, 通过模拟实验开展微小空间碎片撞击诱发放电的研究, 获得了典型的实验结果, 对撞击诱发放电信号的特征进行了分析.

关键词: 微小空间碎片, 撞击诱发放电

PACS: 96.50.Pw, 94.05.Jq

DOI: 10.7498/aps.62.229601

1 引言

地球同步轨道、极地轨道和太阳同步轨道是低能电子、等离子体与航天器相互作用并导致其发生充放电效应的敏感区域, 也是空间碎片分布密集的区域, 又是航天器的密集运行区域. 其中尺寸小于 1 mm 的微小空间碎片数量巨大, 航天器在轨运行期间将不可避免地与之发生碰撞, 由于微小空间碎片与航天器发生碰撞的平均速度高达 10 km/s, 因此其撞击会抛射出远大于撞击碎片质量的包含固体颗粒、气体以及等离子体的碎片云, 其中等离子体的密度及波及范围随撞击速度及碎片尺度的增加而增加^[1-6]. 如果撞击发生在航天器充放电敏感的区域以及航天器太阳电池上, 撞击抛射的等离子体极有可能会触发其“异常”放电, 导致航天器放电阈值降低, 频次增加, 甚至航天器充放电和太阳电池静电放电防护“失效”.

航天器充放电效应是导致航天器故障的重要原因^[7,8]. 在充放电效应研究中, 研究人员很早就指出碎片撞击是航天器在轨放电的重要机制之一. 20 世纪末英国研究人员在研究可能会触发放电的空间环境因素实验中, 利用其他设备模拟微小碎

片撞击过程进行了撞击诱发放电的初步尝试, 并证实了该机制的存在; NASA (美国宇航局) 在其充放电防护规范设计指南 Handbook4002a 中明确指出撞击诱发放电是航天器发生放电的重要触发因素之一^[6,9-14]. 在空间碎片的研究中, 研究人员在 20 世纪 70 年代开始就已经关注撞击形成等离子体的研究, 而近年来研究人员在考虑微小空间碎片撞击风险时指出, 微小空间碎片撞击诱发放电是微小空间对航天器构成的最严重的威胁^[4].

近年来, 国内外相关专家已经逐渐意识到, 微小空间碎片撞击诱发放电不仅在理论上存在, 而且该机制极有可能是一些航天器故障的原因^[15-17]. 对空间 ESD 异常的统计分析表明, 很多放电是在充电环境并不严重的情况下发生的. 通过对航天故障的个例分析, 研究人员认为 ESA (欧空局) 的 Olympus 卫星, NASA 的 Landsat 5 卫星和 JASON-1 卫星, 日本的 ADEOS 2 卫星和 ALOS 卫星上发生的重要故障极有可能是碎片撞击诱发放电引起的^[15]. 国内某 GEO 轨道卫星的计算机由表面放电引起了多次复位, 但是分析表明即使按照最恶劣的空间等离子体环境计算也只能产生几百伏的电位差, 本身不足以引起放电. 类似的情况也存在于高压太阳电池等暴露部件, 有不少已确认的高压电

* 国家自然科学基金(批准号: 41174263)资助的课题

[†] 通讯作者. E-mail: lhw718@nssc.ac.cn

池阵的放电故障并没有表现出与空间等离子体环境扰动的相关性,这意味着空间微小碎片有可能多次诱发太阳能电池系统故障,只是被忽视了。

虽然研究人员很早就认识到其威胁,但是关于微小空间碎片撞击诱发放电效应的研究目前仍然较少,其主要原因是在轨甄别撞击诱发放电故障和地面模拟撞击诱发放电实验难度都非常大。但是随着航天技术的发展,国际上越来越多的机构开始重视碎片撞击诱发放电机理对航天器产生的影响研究。日本研究者利用轻气炮开展了毫米级碎片撞击诱发放电的实验,证实了撞击诱发放电机理的存在^[18-20]。国内沈阳理工大学利用轻气炮开展实验,对撞击等离子体的参数进行了测量^[21,22];利用等离子体驱动微小碎片加速器开展了模拟实验,在国际上首次获得了 200 μm 微粒超高速撞击诱发放电的实验结果,为本项工作的开展奠定了基础^[16]。

2 实验设计

2.1 微小空间碎片撞击诱发放电风险分析

空间碎片按其尺寸大小可以分为大空间碎片(尺寸大于 10 cm 的空间碎片)、微小空间碎片(尺寸小于 1 mm 的空间碎片)和危险碎片(尺寸介于 1 mm—10 cm)。典型轨道上空间碎片数量随尺寸的增加而减小,其分布如图 1 所示。碎片尺寸越大其撞击损伤及形成的等离子体越严重,但其数量低与航天器发生碰撞的概率也低,尺寸小的碎片其数量多,但是其撞击形成的影响小。因此,必须根据空间碎片的分布特征及撞击形成等离子体的规律来研究其对航天器的影响。

采用 Master2005 模式来计算空间碎片通量,利用该模式分析评估了高度 800 km、倾角 98° 的太阳同步轨道上的空间碎片(包括微流星)分布,计算结果如图 1 所示。从图 1 的结果可以看出,尺寸大于 1 mm 的微粒数量很少,与航天器发生碰撞的概率很低,而尺寸大于 0.1 mm 的微粒其通量接近 100 个/ $\text{m}^2 \cdot \text{a}$,其数量远大于 1 mm 的碎片,与航天器发生碰撞的频率较高。

空间碎片撞击形成的等离子体的总量与微粒的速度、尺寸以及材料种类等相关,等离子体形成之后会以撞击坑为中心向外扩散,等离子体扩散过程中在其密度还较高的时候覆盖到差异带电区域,

就会使其导通形成放电。因此,要准确评估不同尺寸碎片撞击诱发放电的风险,需要获取等离子体的总量、分布以及诱发放电的阈值条件,而在现有条件下难以获得。碎片撞击航天器表面形成的撞击坑既是撞击等离子体扩散的中心,又能在一定程度上反映不同尺寸碎片撞击等离子体高密度覆盖区域的相对大小,因此选用碎片撞击表面损伤区域作为评估不同碎片撞击诱发放电风险初步评估的依据。

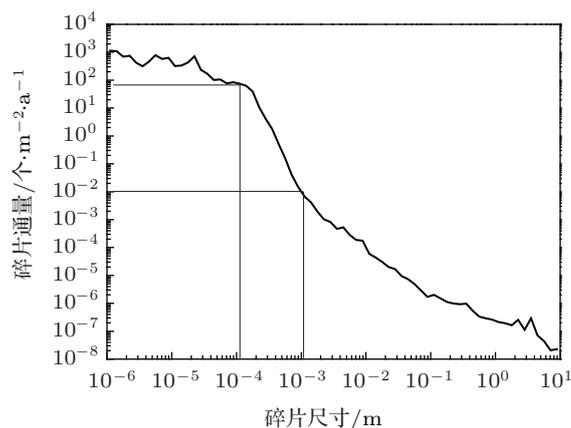


图 1 空间碎片积分通量随碎片直径的变化关系

超高速撞击形成的撞击坑损伤区域,用其特征尺寸贝壳状碎裂区的直径 D_{co} 来表征。根据实验可以得到碎片超高速撞击形成的撞击坑尺寸与微粒的速度 v , D_p 以及微粒密度 ρ 的验规律如下^[23]:

$$D_{\text{co}} = 3.708 \times 10^{-3} \times \left(\frac{2}{3} \pi \left(\frac{D_p}{2} \right)^3 \cdot \rho \cdot v^2 \right)^{0.35}.$$

利用 Master2005 空间碎片模式,计算出碎片分布特点及其速度的关系,结合碎片撞击形成撞击损伤的面积与碎片速度尺寸等的关系,就对轨道上空间碎片撞击导致的损伤面积进行计算,其中对面积贡献最大的碎片尺寸区域就是碎片撞击损伤最严重的尺寸区域。根据以上分析,计算得到的结果如图 2 所示,其中面积损伤的主要是由 5—500 μm 的空间碎片撞击造成的,尤其是 200 μm 碎片形成的相对损伤面积最大。因此在本试验中,选择 200 μm 的微粒进行试验,研究其撞击诱发放电的规律。

2.2 实验设计

实验在中国科学院空间科学与应用研究中心的等离子体驱动微小碎片加速器上进行,该加速器能把尺寸为 200 μm 的微粒加速到 15 km/s^[23,24]。微

粒速度采用压电测速方法进行^[25], 实验的布局如图3所示. 等离子体驱动微小碎片加速器工作时, 在其等离子体枪中通过电容放电会形成高速、高温和高密度的等离子体, 等离子体在喷嘴处加速微粒时用于固定微粒的 mylar 膜被气化进一步形成等离子体, 若这些等离子体不受任何限制将会直接达到实验样品表面激发样品放电, 并对样品表面形成污染. 为了保证实验样品不受加速器工作过程形成等离子体的干扰, 在飞行管道前段设有孔拦, 在其末端设有阻挡碎片加速器等离子体的 mylar 膜. 在实验过程中 mylar 膜能够让微粒几乎不受影响地穿过, 而能把大多数等离子体挡住, 保证实验不受加速器等离子体的干扰.

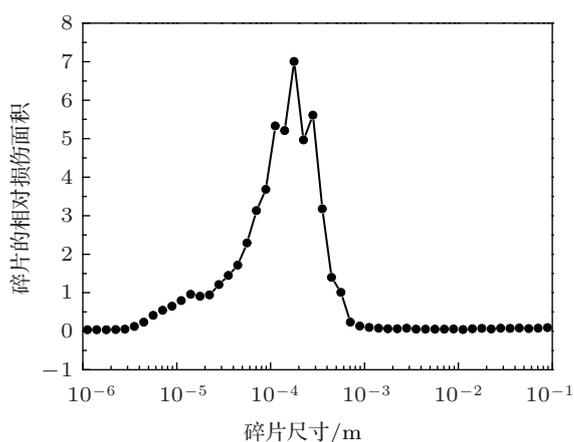


图2 碎片损伤面积随碎片直径的分布

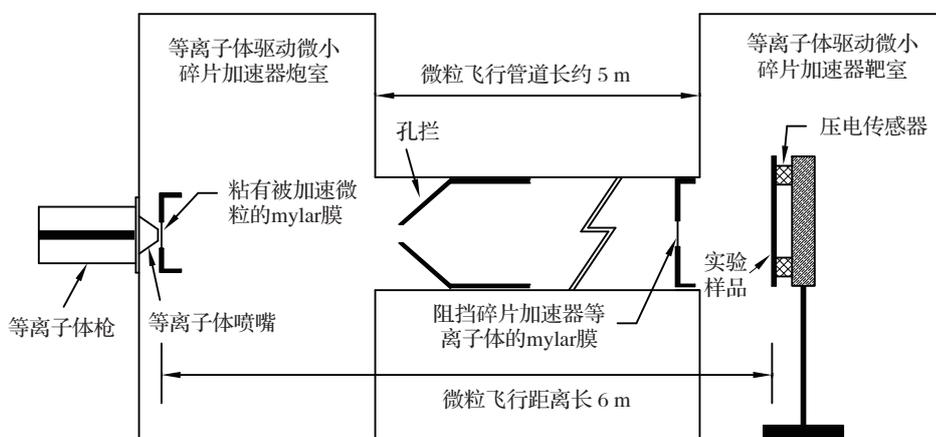


图3 微小空间碎片撞击诱发放电实验布局图

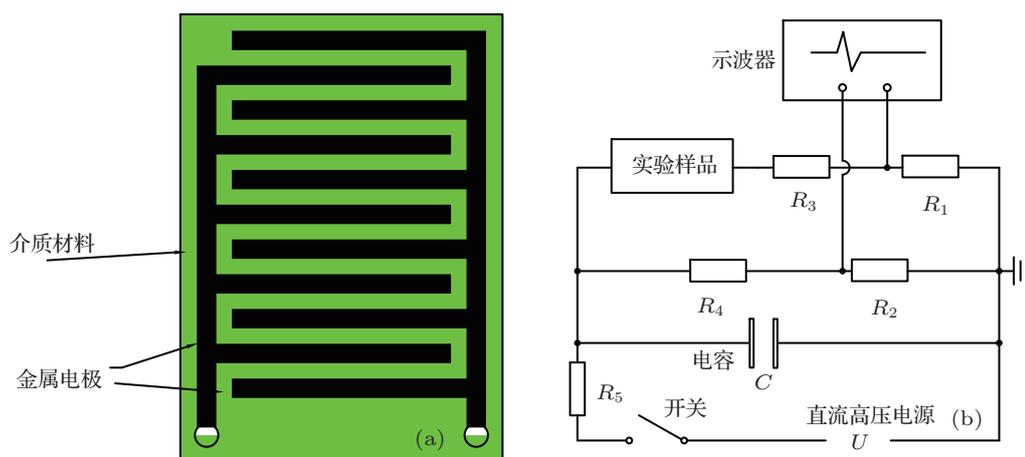


图4 实验样品及电路图 (a) 实验样品图; (b) 实验电路图

由于微小碎片加速器每次能加速多个颗粒, 每个颗粒尺寸非常小而且其撞击在样品上的位置有一定的分布, 为了实现颗粒撞击能够诱发放电, 在

实验过程中设计了如图4所示的实验样品和实验电路图, 开展撞击诱发放电的实验研究. 实验样品设计成错位排列的梳状电极结构, 其中, 电极宽度

及电极间的间隙均为 1 mm, 在两个电极间加上偏压, 当微粒撞击到样品上时, 撞击等离子体在电场的作用下被收集, 就会形成相应的放电信号. 实验电路把试样样品并联到其中, 实验前通过直流高压电源对电容器进行充电, 在加速器触发放电加速微粒前关闭直流高压电源, 电容器就变成“电源”通过电阻 R_4 和 R_2 放电, 当微粒撞击到样品上时, 电容与 R_3 和 R_1 构成的回路被撞击等离子体导通形成放电. 通过示波器监测电阻 R_1 上电压的变化, 以对放电信号进行监测, 通过监测 R_2 上的电压的数值, 可以计算出放电时刻样品电容器两端的电压值.

3 实验测量结果

3.1 对比实验结果

为了对撞击诱发放电的实验结果及碎片加速器等离子体干扰信号防护设计的效果进行检验, 在撞击诱发放电的实验中开展了对比实验. 对比实验与正常撞击诱发放电实验相比, 所有实验条件都相同, 只是在加速器等离子体喷嘴末端放置的是未粘任何微粒的 myler 膜, 以保证加速器形成的等离子体参数与正常实验过程一致, 只是没有微粒的超高速撞击. 对比实验与正常实验的顺序是: 先进行正常撞击诱发放电实验, 观测撞击诱发放电信号, 以保证电路连接正常, 并使阻挡碎片加速器的 mylar 上形成一些微粒撞击形成的小孔 (加速器形成的等离子体会有一小部分通过小孔达到样品表面); 之后进行对比实验, 之后再继续进行正常撞击诱发放电实验, 并观测撞击诱发放电信号, 进一步确认实验电路连接正常. 以上实验开展多次, 以保证实验结果的可靠性. 严格按以上方案开展对比实验, 得到多次实验结果表面均有微粒撞击时, 有撞击诱发放电信号, 没有微粒撞击时, 没有放电信号. 在对比实验与正常放电实验中, 通过示波器在 R_1 两端采集的信号如图 5 所示. 图 5(a) 为正常的撞击诱发放电信号, 图 5(b) 为对比实验信号, 0 时刻的信号为等离子体驱动微小碎片加速器放电形成的干扰信号. 通过对比实验, 可以证明示波器通过 R_1 采集的信号是碎片撞击诱发放电形成的, 加速器工作过程中形成的等离子体通过以上措施已经得到很好的限制, 不会对实验结果新城干扰.

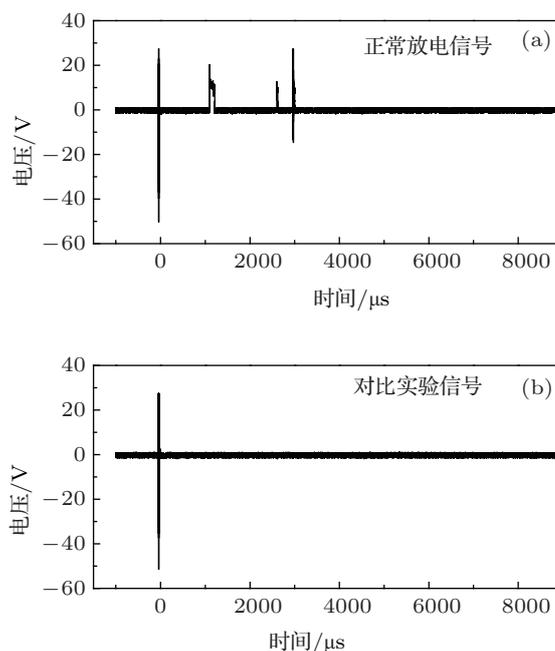


图 5 对比实验结果

3.2 微粒撞击诱发放电的特征

实验中, 被加速的微粒是 200 μm 的玻璃珠, 图 4 中的实验电路中, 电阻 $R_4 = R_5$ 为 5.1 M Ω , R_2 为 20 k Ω , R_1 为 51 Ω , R_3 为 1 k Ω , 电容器的电容为 0.2 μF . 实验开始之前, 利用直流高压电源对电容器进行充电, 加速器发射微粒之前, 关闭高压电源, 电容器通过电阻 R_4 和 R_2 放电, R_1 与 R_3 回路在没有微粒撞击时, 处于断路状态, 电阻 R_1 没有电阻和电流. 当微粒超高速撞击到样品上, 发生放电之后, R_1 会有电流和电压信号. 实验得到的典型放电信号如图 6 所示, 其中图 6(a) 为实验中通过示波器监测的碎片撞击诱发放电之后在电阻 R_1 上的电压信号, 利用欧姆定律得到其电流如图 6(b) 所示. 该信号的持续时间为 66.4 μs , 放电电流的平均值为 0.5 A, 利用欧姆定律, 得到 R_1 和 R_3 串联之后的电势差为 528 V. 由于放电时间仅为 66.4 μs , 与电容和 R_2 及 R_2 组成的放电回路的时间常数相比很短, 忽略放电前后通过该回路放电对电阻 R_2 上电压变化的影响, 其变化主要是由于撞击诱发放电, 通过 R_1 放电形成的. 此外, 通过示波器对 R_2 两端的电压进行监测, 得到前后电阻 R_2 上的电压信号由放电前的 2.5 V 降低到放电后的 1.7 V, 放电期间其平均电压为 2.17 V, 根据放电期间的平均电压计算得到电容两端的平均电压为 556 V. 放电期间电容器两端的平均电

压减去电阻 R_1 和 R_3 上的电压 528 V, 得到放电期间放电样品上的平均电压仅为 18 V, 等离子体的等效电阻为 36 Ω , 由此可见利用该样品进行实验, 维持放电所需的电压很低, 电压主要分布在放电回路中电阻值高的电阻上, 减小回路电阻能够增加放电电流. 多次实验表明, 放电期间等离子体间的电压低、电阻小, 具有很好的导电性, 因此只要覆盖到有一定电势差的电极间就会使其导通形成放电. 由于实验中采用的撞击样品中电极间的距离只有 1 mm, 在该尺寸范围撞击等离子体的密度高、温度高 [13,19], 因此具有极好的导电性.

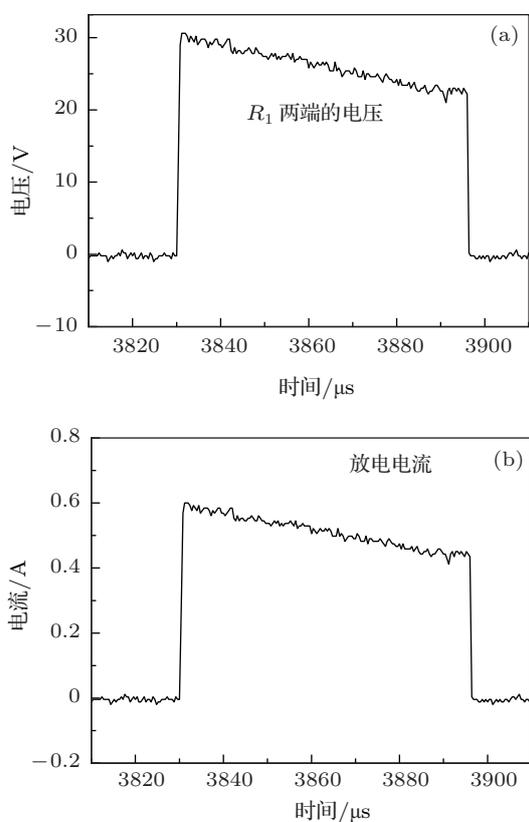


图6 典型的放电信号

对图6中的放电电流信号对时间积分, 得到通过 R_1 回路放电的电荷量为 3.36×10^{-5} C, 此外根据电容器两端电压的变化, 利用 $Q = \Delta U \cdot C$, C 为 0.2 μF , $\Delta U = \Delta V_{R_2} \frac{R_4 + R_2}{R_2}$, ΔV_{R_2} 为 0.8 V, 可以求出放电前后电荷量的变化为 3.58×10^{-5} C. 根据欧姆定律计算出通过 R_2 回路放电的电荷量为 7.2×10^{-9} C, 可见放电瞬间, 电容器上的电荷主要通过放电回路 R_1 泄放, 通过电流积分计算得到的泄放的电荷量与通过电容器电压变化计算得到的电荷量基本符合, 差别可能主要由测量误差造成. 超高速撞击形成等离子体可由经验公式

$$Q = 0.1m \left(\frac{m}{10^{-11}} \right)^{0.02} \left(\frac{v}{5} \right)^{3.48}$$

计算出. 其中, 电荷量 Q 的单位为 C, 微粒速度的单位是 km/s, 微粒质量 m 的单位为 g, 在本实验中, 采用的是玻璃珠, 其密度为 2.5 g/cm³, 假设其为球形, 根据公式 $m = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2} \right)^3 \rho$, 即可根据微粒尺寸计算出其质量. 对于图6所对应的放电信号, 根据撞击时间计算得到微粒的速度为 1.6 km/s, 假设微粒超高速撞击形成的等离子体即为通过 R_1 回路泄放的电荷量, 那么当电荷量为 3.36×10^{-5} C 时, 对应的微粒的直径为 4.4 mm. 实验中, 所选用的微粒是 200 μm 的玻璃珠, 根据撞击形成等离子体的经验公式计算得到该尺寸的微粒速度为 1.6 km/s, 撞击形成的等离子体的电荷量为 2.6×10^{-8} C. 根据以上分析, 可见撞击诱发放电过程中, 放电电极两端的电荷只有很少一部分是由撞击等离子体形成的, 放电一旦形成之后, 等离子体中的电子在电场作用下运动, 会进一步电离撞击形成的气体, 形成持续时间更长、幅度更大的放电, 导致放电的影响更严重.

实验中, 所采用的被撞击并形成放电的实验样品为梳妆电极结构, 其中电极宽度为 1 mm, 相邻两电极间的电位相反, 相间的电极间电压相同, 电极间的距离也为 1 mm, 因此微粒撞击发生在电极间的概率是 1/2, 撞击在正电极上和负电极上的概率都为 1/4. 对撞击诱发放电信号进行统计和分析, 发现由于撞击位置不同导致撞击诱发放电信号可以分为如图7所示的三类信号, 其中图7(a)所示为第一类撞击诱发放电信号, 图7(b)所示为第二类撞击诱发放电信号, 图7(c)和(d)所示为第三类撞击诱发放电信号. 统计结果显示, 第一类撞击信号有 14 次, 第二类撞击诱发放电信号有 11 次, 第三类撞击诱发放电信号有 29 次, 以上统计结果基本符合微粒的撞击概率.

第一类撞击诱发放电信号的特点是在放电信号的起始时刻, 放电电流信号非常大, 之后迅速衰减到一定幅度之后持续一段时间直到放电结束. 根据实验样品的特点, 发现第一类放电信号是撞击发生在样品负电极上, 当撞击发生时电极表面所带的负电荷伴随电极的破坏而丢失, 以及撞击形成的等离子体中电子在初始时刻的迅速“离开”而形成电极时, 会在放电的初始时刻形成较强的放电电流, 之后放电较稳定, 形成稳定的放电.

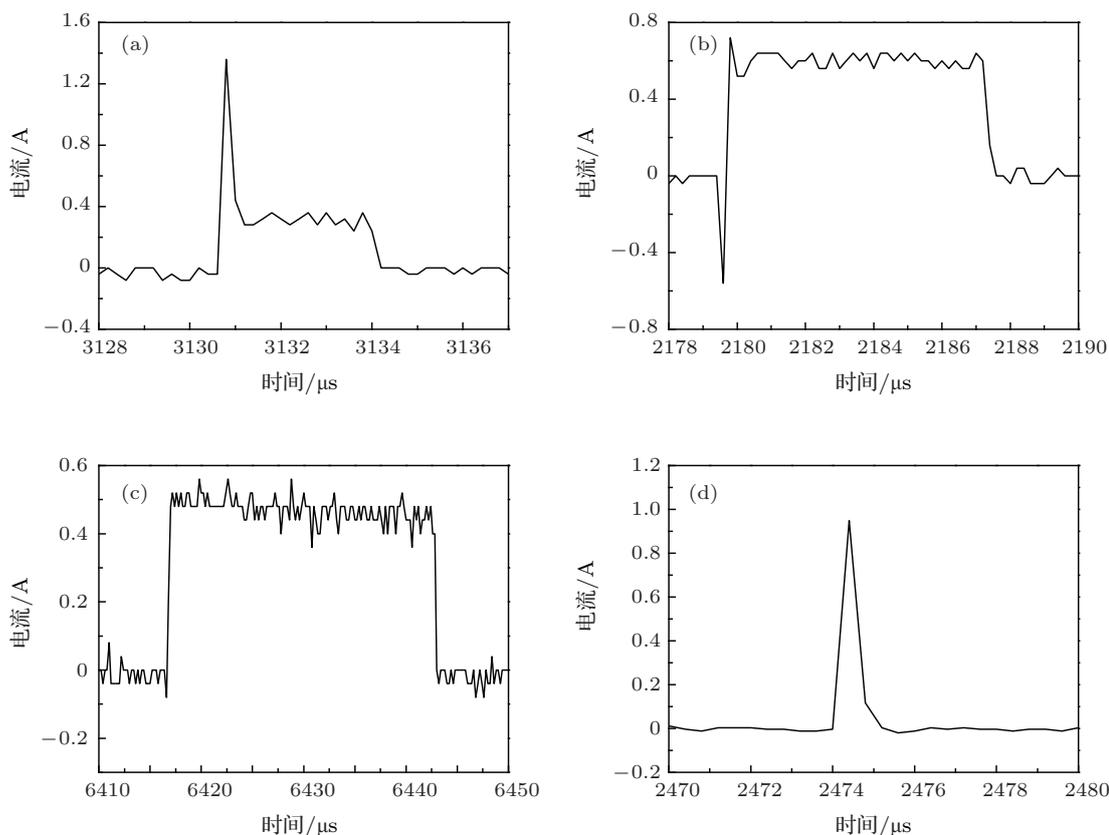


图7 不同类型的撞击信号

第二类撞击诱发放电信号的特点是在放电信号的起始时刻,会出现一个反向电流信号,之后迅速变化,变成正常的放电信号,并持续一段时间.该类信号的主要特点是起始时刻的反向电流信号,该信号是微粒撞击在正电极上,导致电极材料破坏,形成等离子体,等离子体中的电子以其初速度向外扩散,形成一个较强的反向电流,之后稳定的放电则是由于其扩散开之后,在电场的作用下形成正常放电.

第三类撞击诱发放电信号与前两类信号相比,信号较稳定,没有放电起始阶段的大电流和反向电流,若撞击形成的等离子体较多,或者电极间电压较高,则放电持续时间较长,如图7(c)所示,放电稳定且能持续一段时间,若放电持续时间较短,则为图7(d)所示,变为一个脉冲信号.该类放电发生的条件是微粒撞击位置位于电极间,撞击之后的等离子体扩散开之后在电场的作用下把电极导通,形成放电.

以上三类放电信号虽然是利用梳妆电极结构的实验样品获得的,但其特征不受实验样品的限制.

第一类信号的特征对应于微粒撞击在带有负电位的电极上形成的放电,第二类信号对应于微粒撞击在带正电位的电极上形成的放电,第三类信号对应于微粒撞击发生在电极附近诱发发电形成的信号的特征.

4 结论

通过模拟实验证实了 $200\ \mu\text{m}$ 的微粒撞击能够诱发不等量带电样品的放电.放电是由撞击形成的具有极高导电性的等离子体使得样品两电极导通而形成的,放电过程中实验样品上电极间的电压只有 $18\ \text{V}$,等离子体的等效电阻很低,只有几十欧.若增加放电回路的电压或降低放电回路的电阻,还能形成大电流放电,可能形成更严重的放电和影响.撞击形成的气体对放电有重要影响,放电发生之后,由于气体被电离并参与到放电过程,放电的电流和持续时间大大加强,使得放电的影响远大于撞击等离子体放电形成的影响.由于撞击位置不同而形成的三类放电信号,第一类信号与第二类信号在放电发生的起始时刻,电流变化较大,放电过程可能会

形成较强的电磁干扰,影响其他电路的工作;第三类放电信号持续时间较长,可能会伴随较多的能量

泄放.

- [1] Li H W, Han J W, Huang J G, Cai M H, Li X Y, Gao Z X 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 1385 (in Chinese) [李宏伟, 韩建伟, 黄建国, 蔡明辉, 李小银, 高著秀 2010 物理学报 **59** 1385]
- [2] Steve R B, Frank R 1999 *International Journal of Impact Engineering* **23** 67
- [3] Alexandre E P 2002 *IEEE Trans. Plasma Sci.* **30** 2102
- [4] Gerhard D 2008 *Adv. Space Res.* **41** 1123
- [5] Lee N, Close S, Lauben D, Linscott I, Goel A, Johnson T, Yee J, Fletcher A, Srama R, Bugiel S, Mockler A, Colestock P, Green S 2012 *Int. J. Impact Eng.* **44** 40
- [6] David A C, Peter H S 1999 *Int. J. Impact Eng.* **23** 169
- [7] Quan R H, Zhang Z L, Han J W, Huang J G, Yan X J 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 1206 (in Chinese) [全荣辉, 张振龙, 韩建伟, 黄建国, 闫小娟 2009 物理学报 **58** 1206]
- [8] Cao M, Wang F, Liu J, Zhang H B 2012 *Chin. Phys. B* **21** 127901
- [9] Foschini L 1998 *Europhys. Lett.* **43** 226
- [10] Levy L, Mandeville J C, Siguler J M, Reulet R, Sarraill D, Catani J P, Gerlach L 1997 *IEEE Trans. Nuclear Sci.* **44** 2201
- [11] Carolyn K P, Henry B G, Whittlesey A C, Stevens N J 1984 *NASA, Technical Paper 2361*
- [12] European Cooperation for Space Standardization 2008 *ECSS-E-ST-20-06C Spacecraft Charging*
- [13] Michael G R 2011 *NASA-Handbook-4002a*
- [14] Huang J G, Han J W 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 2907 (in Chinese) [黄建国, 韩建伟 2010 物理学报 **59** 2907]
- [15] Henry B G, Sigrid C 2012 *12th spacecraft charging technology conference Kitakyushu, Japan, May 14–18, 2012*
- [16] Gao Z X, Li H W, Cai M H, Liu D Q, Huang J G, Han J W 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 039601 (in Chinese) [高著秀, 李宏伟, 蔡明辉, 刘丹秋, 黄建国, 韩建伟 2012 物理学报 **61** 039601]
- [17] Marvin H T, Simon P W, Michael G B, Randall K B 2000 *Earth, Moon Planets* **82** 27
- [18] Akahoshi Y, Nakamura T, Fukushige S, Furusawa N, Kusunoki S, Machida Y, Koura T, Watanabe K, Hosoda S, Fujita T, Cho M 2008 *Int. J. Impact Eng.* **35** 1678
- [19] Harano T, Machida Y, Fukushige S, Koura T, Hosoda S, Cho M, Akahoshi Y 2006 *Int. J. Impact Eng.* **33** 326
- [20] Fukushige S A, Watanabe Y K, Nagasaki T, Sugawara K, Koura T, Cho M 2008 *IEEE Trans. Plasma Sci.* **36** 2434
- [21] Tang E L, Tang W F, Xiang S H, Li L X, Zhang W, Yu H, Zhao X Y 2011 *High Power Laser Part. Beams* **23** 229 (in Chinese) [唐恩凌, 唐伟富, 相升海, 李乐新, 张薇, 于辉, 赵新颖 2011 强激光与粒子束 **23** 229]
- [22] Tang E L, Zhang Q M, Zhang J 2008 *J. Projectiles, Rockets Missiles Guid.* **28** 110 (in Chinese) [唐恩凌, 张庆明, 张健 2008 火箭与制导学报 **28** 110]
- [23] Huang J G, Han J W, Li H W, Cai M H, Li X Y 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 7950 (in Chinese) [黄建国, 韩建伟, 李宏伟, 蔡明辉, 李小银 2008 物理学报 **57** 7950]
- [24] Han J W, Zhang Z L, Huang J G, Li X Y, Chen Z F, Quan R H, Li H W 2006 *Spacer. Envir. Eng.* **23** 205 (in Chinese) [韩建伟, 张振龙, 黄建国, 李小银, 陈赵峰, 全荣辉, 李宏伟 2006 航天器环境工程学报 **23** 205]
- [25] Zhang Z L, Han J W, Quan R H, Li H W, Huang J G, Li X Y, Cai M H 2007 *4th China Space Debris Conference Nanjing, China, November 5–8, 2007* (in Chinese) [张振龙, 韩建伟, 全荣辉, 李宏伟, 黄建国, 李小银, 蔡明辉 2007 第四届全国空间碎片专题研讨会, 中国南京, 5—8 2007]

Research of small space debris impact induced discharge*

Li Hong-Wei[†] Han Jian-Wei Cai Ming-Hui Wu Feng-Shi

(Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

(Received 16 July 2013; revised manuscript received 26 August 2013)

Abstract

Small space debris impact the surface of spacecraft frequently at a velocity of about 10 km/s, thereby creating plasma cloud clusters during the impact. If the impact happens in the area with high voltage, then the plasma can induce discharge. This mechanism of spacecraft discharging has been widely accepted but research about it is rare. In this paper we present the experimental results of 200 micron glass ball particles impact induced discharge carried out on a plasma drag small space debris accelerator. The experimental results and characteristics of the discharging signals are also analyzed in this paper.

Keywords: small space debris, impact inducing discharge

PACS: 96.50.Pw, 94.05.Jq

DOI: 10.7498/aps.62.229601

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 41174163).

[†] Corresponding author. E-mail: lhw718@nssc.ac.cn