

第二阳极作用改善阴极真空弧沉积中 弧放电稳定性的研究

王广甫^{1, 2} 张荟星²

1 (北京师范大学分析测试中心 北京 100875)

2 (北京师范大学低能核物理研究所 北京 100875)

摘要 研究了阴极弧等离子体沉积中第二阳极现象改善弧放电稳定性的作用。结果表明：由于弧放电规模增大，等离子体电阻降低，第二阳极现象的存在可大幅度提高造成阴极弧放电不稳定的聚焦磁场阈值。

关键词 阴极真空弧沉积，第二阳极作用，弧放电稳定性

分类号 TL657

阴极真空弧等离子体沉积技术具有放电稳定、蒸发出的阴极材料离子化率高、成膜速度快、离子能量高以及能够沉积高质量的金属和半导体膜等优点，是一种新兴的合成薄膜技术。它已广泛应用于金属、非晶金刚石及化合物薄膜和涂层的合成。研究发现，在弧沉积中聚焦磁场和磁过滤管道磁场对阴极弧放电稳定性有不同程度的影响^[1-3]。一般认为，磁场造成阴极真空弧放电不稳定有两方面的原因^[2]，一是由于磁场增大使磁化等离子体垂直磁力线方向的电阻增大，从而使弧工作电压升高；二是

由于在阴极表面磁场作用下，阴极斑快速运动，跑到阴极表面以外所造成。我们发现^[4-6]：一定情况下，靶室外壁和磁过滤管道在弧沉积中会起到阴极弧放电第二阳极的作用，而这种作用对阴极弧放电的规模和稳定性都有很大的影响。本文就其在改善弧放电稳定性中的作用进行了研究。

1 实验装置

实验是在北京师范大学研制的磁过滤阴极真空弧等离子体沉积装置上进行的，图1为其示意图。

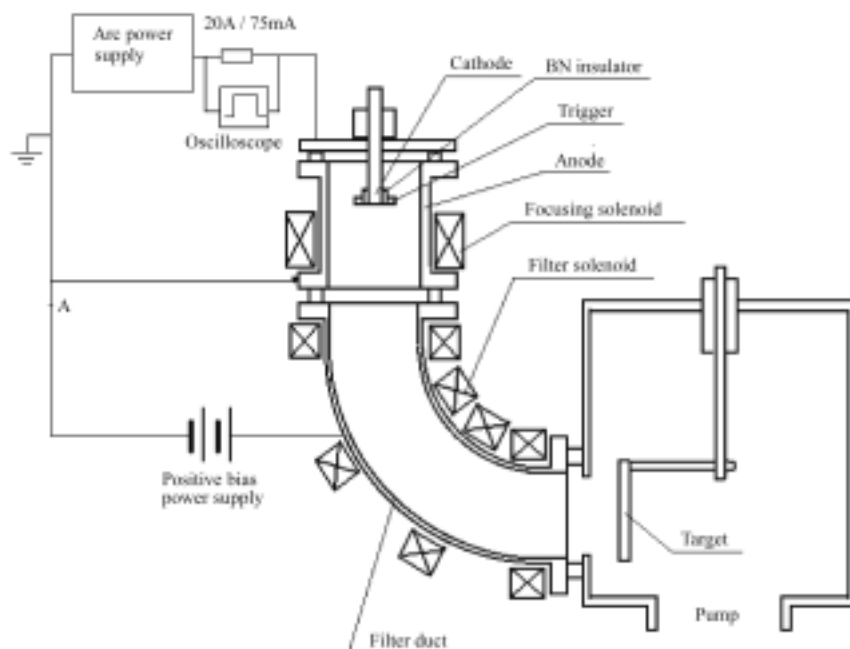


图1 磁过滤阴极真空弧沉积系统示意图

Fig. 1 The schematic diagram of a filtered cathode vacuum arc deposition apparatus

国家“863”计划(863-715-008-0040)资助

第一作者：王广甫，男，1964年出生，1999年于北京师范大学获博士学位，凝聚态物理专业，副研究员

收稿日期：2002-02-28，修回日期：2003-08-15

一台 MEVVA 等离子体源用来产生等离子体^[7]。MEVVA 源工作于脉冲状态,阴极直径为 20 mm,阳极孔径为 68 mm。主弧脉冲宽度为 2.5 ms,脉冲(触发)频率 2—25 Hz 连续可调。MEVVA 源的聚焦磁场由阳极筒外所绕线包产生。线包由一个 0—30 V 和 0—5 A 的直流电源供电,可在阳极中心产生 0—10 mT 的磁场。MEVVA 源产生的阴极材料等离子体经一偏转 90° 的不锈钢磁过滤管道滤掉大颗粒后进入沉积靶室。磁过滤管道偏转半径为 94 mm,孔径为 68 mm,管道内等离子体导向磁场由管道外所绕线包产生。线包由一个 100 V、0—5 A 的直流电源供电,可在管道中心产生 0—38 mT 的轴向磁场。MEVVA 等离子体源阳极接地,磁过滤管道相对 MEVVA 源阳极可加 0—60 V 的正偏压。正偏压电源电容为 $10^5 \mu\text{F}$,这主要是为保持正偏压的稳定,因为起弧后打到管道内壁的电流很大,可达上百安培。

为考察磁过滤真空弧沉积系统的弧放电情况,在弧放电回路串联了 20 A/75 mV 的采样电阻(分流器)用来测量阴极弧放电电流。

实验过程中系统真空好于 4×10^{-4} Pa,采用 Ti 阴极。

2 实验结果及讨论

2.1 磁过滤管道第二阳极作用对弧放电稳定性的影响

对磁过滤阴极真空弧沉积,在一定情况下,磁过滤管道不仅可以偏转等离子体起到过滤大颗粒的作用,而且可以作为第二阳极对阴极真空弧放电的规模和稳定性产生影响^[5]。为测试第二阳极作用对阴极弧放电的影响,在管道正偏压为零时,在偏压电源接在过滤管道和阳极间以及断开偏压电源和阳极间的连线(图 1 中 A 点),使磁过滤管道处于悬浮状态两种情况下,对聚焦磁场对系统弧放电稳定性的影响进行了测量。实验中弧压为 70 V,管道正偏压和磁过滤管道磁场电流为零,结果如图 2 所示。图中纵坐标为系统总的弧流,横坐标是聚焦磁场励磁电流。曲线终止处出现断弧。显然,在过滤管道通过正偏压电源同阳极相连,起到第二阳极作用^[5]时,弧放电稳定性受聚焦磁场的影响比无第二阳极作用时小得多。

从图 2 中可以看到,当聚焦磁场励磁电流较低(<0.2 A)时,两种情况下阴极弧放电电流相等;聚焦磁场励磁电流为 0.2—0.4 A 之间时,过滤管道起第二阳极作用时的弧流明显大于过滤管道悬浮时,

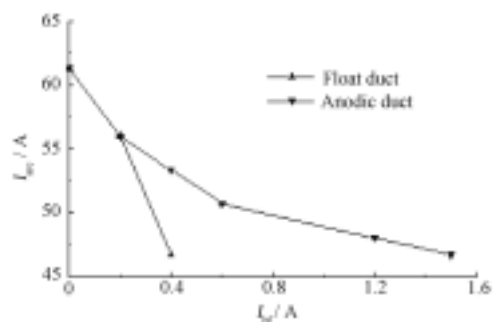


图2 磁过滤管道悬浮和通过正偏压电源接在弧源阳极两种情况下,聚焦磁场对系统弧放电稳定性的影响

Fig. 2 Influence of focusing magnetic field on arc stability for float duct or for duct working as second anode

并且随聚焦磁场升高,两种情况下弧流差别增大;聚焦磁场励磁电流 >0.4 A 时,磁过滤管道悬浮时出现了断弧。我们认为:实际上,磁过滤管道悬浮时,因无第二阳极,所测阴极弧放电电流是阳极-阴极间弧放电的电流;磁过滤管道通过正偏压电源接到阳极上时,由于过滤管道的第二阳极作用,阴极-管道-正偏压电源-阳极-主弧电源-阴极构成第二个弧放电回路,阴极弧流是两个回路弧流之和。聚焦磁场较低时,对等离子体的约束较弱,阴极弧放电主要发生在阴极-阳极间,磁过滤管道第二阳极作用不明显,因此两种情况下弧放电差别较小,弧流相等;聚焦磁场励磁电流为 0.2—0.4 A 时,过滤管道第二阳极作用已较明显,此时两个弧放电回路都产生弧放电,所以总的阴极弧放电弧流明显高于阳极-阴极间弧放电的弧流;随聚焦磁场升高,第二阳极作用变得越来越明显,而阳极-阴极放电回路放电规模缩小^[5],所以总弧流和阳极-阴极间弧放电电流差别增大;聚焦磁场励磁电流 >0.4 A 时,由于磁场的约束作用,阳极-阴极间等离子电阻太大导致弧放电终止,弧放电集中于磁过滤管道-阴极间。从上面分析可以看出,第二阳极作用改善阴极真空弧放电的稳定性是由于提供了除原放电回路外的另一个回路。

升高过滤管道正偏压可以提高第二阳极放电回路弧放电在系统弧放电中所占份额^[5]。图 3 是弧压为 100 V、过滤管道磁场为零时,阴极真空弧放电开始不稳定时的最低聚焦磁场励磁电流随磁过滤管道正偏压的变化情况。很明显,随第二阳极作用的增强,造成弧放电不稳的最低聚焦磁场阈值升高,弧放电就越加稳定。

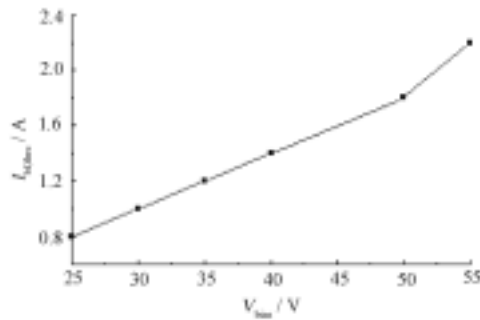


图 3 过滤管道正偏压对造成弧放电不稳的最低聚焦磁场的影响

Fig. 3 Influence of duct positive bias on arc unstable threshold of focusing magnetic field

2.2 无磁过滤管道时, 第二阳极作用对弧放电稳定性的影响

为进一步研究第二阳极作用对弧放电稳定性的影响, 并排除磁过滤管道悬浮时可能引起的管道上的电荷积累对弧放电的影响。我们去掉了图 1 的磁过滤管道和正偏压电源。在触发频率为 12Hz、弧压为 100V 时, 在 MEVVA 等离子体源阳极和阴极分别接地情况下, 测量了沉积靶上离子平均流强随聚焦磁场电流的变化, 结果如图 4 所示。在阴极接地情况下, 在聚焦磁场较低时, 靶上平均离子流强随聚焦磁场电流增大快速升高, 在聚焦磁场电流为 0.4A 时达到最大值, 约为无聚焦磁场时的 2.3 倍。继续增大聚焦磁场电流, 弧源开始出现断弧, 并由此造成沉积靶上平均离子流强降低。当聚焦磁场电流升高到 1.0A 时, 弧源完全断弧。在阳极接地情况下, 在聚焦磁场电流较低时, 靶上平均离子流强随聚焦磁场励磁电流增大快速升高, 在聚焦磁场电流升高至 0.8 A 时达到最大值, 约为无聚焦磁场时的

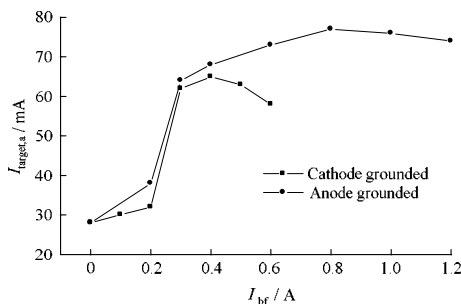


图 4 弧压 100V、触发频率 12Hz 时, 聚焦磁场励磁电流对沉积靶上平均离子流强的影响

Fig. 4 Influence of focusing magnetic field on average deposited ion intensity for grounded-cathode or grounded-anode

2.75 倍。之后, 随聚焦磁场电流升高, 靶上平均离子流强开始缓慢减低, 但直到聚焦磁场电流为 2.4A 时, 弧源仍没有完全断弧。我们知道, 在阳极接地时, 靶室外壳起到了第二阳极作用^[3]。所以, 图 4 表明即使无磁过滤管道情况下, 靶室外壳的第二阳极作用也会改善阴极真空弧放电的稳定性, 并且由于弧放电稳定性的改善, 可以在更高的聚焦磁场下获得高的沉积离子电流。

3 结论

在上述有无第二阳极作用下聚焦磁场对阴极真空弧放电稳定性影响的对比实验中, 实验装置结构相同。因此在相同聚焦磁场励磁电流下, 阴极表面磁场的分布和大小是完全相同的。所以, 结合引言中所述造成阴极弧放电不稳定的可能原因, 我们认为, 第二阳极作用对阴极弧放电稳定性的改善, 不是由于阴极表面磁场变化造成阴极斑运动规律改变所致, 而是由于等离子体电阻降低所致。实际上, 由于第二阳极作用的出现, 使放电回路在原有阴极-阳极回路之外又出现了一条同原放电回路并联的阴极-第二阳极回路。这样一来, 阴极弧放电规模增大, 等离子体电阻降低, 弧放电稳定性就得到了改善。

参考文献

- Anders S, Anders A, Brown I G. Plasma Source Sci Technol, 1995, 4(1): 1—12
- Zhitomirsky V N, Boxman R L, Goldsmith S. Surface and Coating Technology, 1994, 68/69: 146—151
- 王广甫, 张荟星, 张孝吉. 北京师范大学学报 (自然科学版), 1997, 33(3): 361—365
WANG Guangfu, ZHANG Huixing, ZHANG Xiaoji. J of Beijing Normal University(Natural Science), 1997, 33(3): 361—365
- 王广甫, 田人和, 吴瑜光, 等. 北京师范大学学报 (自然科学版), 1999, 35 (3) : 366—369
WANG Guangfu, TIAN Renhe, WU Yuguang, et al. J of Beijing Normal University(Natural Science), 1999, 35(3):366—369
- WANG Guangfu, ZHANG Huixing. Vacuum, 2001, 62: 325—329
- WANG Guangfu, ZHANG Huixing, ZHANG Xiaoji. Surface and Coating Technology. 2000, 128/129: 470—473
- ZHANG Huixing, ZHANG Xiaoji, ZHOU Fengsheng, et al. Review Scientific Instrument, 1994, 65(10) : 3088—3090

Study of improvement of cathode vacuum arc stability by second anode action

WANG Guangfu^{1,2} ZHANG Huixing²

1(Center of Analytical and Testing, Beijing Normal University, Beijing 100875)

2(Institute of Low Energy Nuclear Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract The effect of second anode action on the cathode vacuum arc discharge stability in the cathode arc deposition technology is studied. The results show that the second anode action can increase arc unstable threshold of the focusing magnetic field due to the increase of the arc discharge scale and the decrease of the plasma resistor.

Key words Cathode vacuum arc deposition, Second anode action, Arc stability

CLC TL657