阴极表面喷砂预处理对锑电沉积的影响

高清利[1,2],崔　焱[3],林　艳[1,2,4]

(1.昆明理工大学 冶金与能源工程学院,云南 昆明　650093;
2.云南省中老能矿分析与技术创新国际联合研发中心,云南 昆明　650093;
3.昆明学院 化学化工学院,云南 昆明　650214;
4.省部共建复杂有色金属资源清洁利用国家重点实验室,云南 昆明　650093)

摘要:针对碱性电沉积法提取阴极锑过程中,由于 Sb-Fe 界面结合力不足导致的阴极沉积金属锑易开裂并造成翘板和脱落等问题,提出了采用表面喷砂预处理技术,并结合循环伏安曲线、稳态极化曲线和时间电流暂态曲线系统,分析了阴极表面喷砂预处理对锑离子阴极还原及成核机理的影响机制。结果表明:针对锑的碱性电沉积体系,铁基阴极表面进行喷砂预处理后,阴极还原反应的起始电位向左正移,同一过电位下,电流密度比未经喷砂处理时明显增大,传递系数和交换电流密度增大,说明阴极表面喷砂处理可降低锑离子阴极还原反应能垒,显著提升还原反应速度,并促进锑在阴极表面的三维成核过程,从而获得结晶致密、形貌优良的阴极锑沉积层。进一步深入研究了喷砂粒度对锑电沉积过程的影响规律,并确定最佳的喷砂粒度为 80 目;在此条件下,阴极电流效率提高至 80.1%,槽电压为 2.031 V,吨锑直流电耗降低至 1 674.76 kW·h/t,阴极锑纯度达 98.81%。

关键词:喷砂预处理;锑;电沉积;界面结合力

中图分类号:TF803.27;TF818　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1009-2617(2025)05-0645-08

DOI:10.13355/j.cnki.sfyj.2025.05.009

锑是一种关键的战略金属,是第四代半导体的关键原材料[1-3],也是军事工业供应链至关重要的材料之一。全球锑资源极为有限,2010—2022 年,锑矿供应整体呈下降趋势,年均产量约为 13.5 万 t。2023 年受原料供应紧缺影响,产量锐减,仅为 8.3 万 t[4-5]。

目前,工业上主要采用火法和湿法冶炼工艺提取锑[6-7]。火法冶炼工艺主要是对硫化锑矿(或铅锑共伴生矿)进行氧化熔炼获得锑氧粉,再对锑氧粉进行还原吹炼获得粗锑(或铅锑合金中间产品),粗锑经过火法精炼、电解精炼获得精锑,该法对锑矿品位要求较高,有价金属综合回收率较低。相较火法,湿法冶炼工艺对锑矿品位要求较低,有价金属回收率较高,尤其是在当前锑矿资源贫化加剧和锑价格飙升的形势下,在处理低品位、多金属复杂共伴生矿及含锑二次资源等物料时更具有竞争优势。

由于锑的硫酸盐溶度积小,锑的氯化盐易水解,因此工业上通常采用 NaOH-Na_2S 碱性溶液体系浸出锑矿,得到富锑浸出液后再经电沉积获得阴极锑产品[7]。但在锑的碱性电沉积过程中,由于阴极常采用铁基材料,而 Sb-Fe 界面的结合力不足,会导致阴极锑沉积层在长周期电沉积过程中因生长应力大、界面结合力不足等原因出现开裂、翘板和脱落等现象,严重影响锑电解生产稳定性。因此,如何提高阴极基底与锑沉积层之间的结合力,成为了优化锑电沉积工艺的关键问题。近年来,研究人员从添加剂[8-9]、成核机理[10]、酸洗[11]、电解液成分[12-13]等多方面探索了锑电沉积过程中的界面结合问题,在一定程度上改善了电

收稿日期:2025-04-09

基金项目:云南省建设面向南亚东南亚科技创新中心专项(202303AP140019)。

第一作者简介:高清利(1996—),男,硕士,主要研究方向为金属电沉积。

通信作者简介:林艳(1979—),女,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为金属电沉积、大宗固废资源化回收。
E-mail:yue_810416@kust.edu.cn。

沉积过程存在的问题，但效果不十分理想，阴极沉积层脱板和开裂等问题仍然存在。

针对锑碱性电沉积工艺中阴极沉积层易开裂问题，提出了采用表面喷砂预处理技术电沉积锑。通过现代电化学研究方法系统分析了表面喷砂预处理对锑阴极还原过程的影响机制，并通过对比不同喷砂粒度对电解技术经济指标和阴极锑沉积质量的影响规律，确定了最优工艺参数。

1 试验部分

1.1 电化学测试方法

采用三电极体系进行电化学测试，试验装置如图 1 所示。以汞-氧化亚汞电极作为参比电极、铂片作为辅助电极、玻碳电极作为工作电极（玻碳电极的有效面积为 0.070 7 cm^2），采用填充饱和氯化钾溶液的 L 形鲁金毛细管（ϕ10 mm×85 mm）消除液接电势影响。验前工作电极用金相砂纸打磨，氧化铝抛光粉抛光，用酒精、丙酮溶液清洗，蒸馏水冲洗，烘干待用。采用恒温水浴锅控制电解液温度为 60 ℃，初始电位为 −0.8 V，终止电位为 −1.10 V，扫描速度为10 mV/s，测定未经喷砂处理和经表面喷砂处理的玻碳工作电极上锑阴极还原的极化曲线、循环伏安曲线和电流-时间暂态曲线。

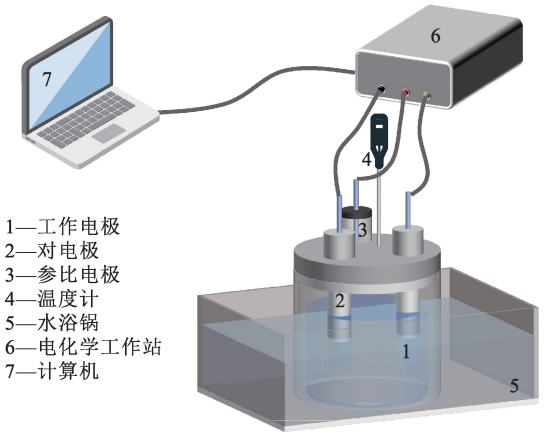


图 1 三电极电化学测试体系

Fig. 1 Three-electrode electrochemical testing system

1.2 电沉积试验材料及方法

阴极室电解液是广西某冶炼厂提供的精锑矿碱性浸出液，电解前先经过精细过滤脱除悬浮物，其成分见表 1。阳极室电解液由实验室配制，将分析纯 NaOH 用一定比例去离子水溶解。

表 1 阴极室电解液成分

Table 1 Composition of electrolyte in cathode chamber g/L

Sb	S	OH^-	Al^{3+}	Pb^{2+}	Bi	Mo^{2+}	Fe	Cu^{2+}	Ag^+
65.55	15.97	26.46	0.010	0.000 5	0.000 9	0.000 1	0.000 19	0.000 58	0.000 18

电解槽为容量 750 mL 的矩形亚克力槽。电解槽的设计如图 2 所示，采用质子交换膜将电解槽分隔成阴极室和阳极室。阴极板选用铁基材质，尺寸为 75 mm×72 mm。为增强阴极板与锑沉积层的结合力，用砂纸对阴极板的两面进行处理，之后再对阴极板的沉积面用不同粒度的喷砂处理。喷砂选用 40#～100# 的石英砂，喷砂时间为 10 min。喷砂后，阴极板采用超纯水超声 15 min去除表面杂质。此外，为了利于电解后剥板，在阴极板边缘涂覆软质透明聚氯乙烯（PVC）胶带封边。阳极板为 Ti 网/RuO_2-IrO_2 复合板，尺寸为 80 mm×100 mm。电解过程由连续数字直流（DC）电源（UNI-T）供电，阳极与电源正极相连，阴极与电源负极相连。在试验过程中，采用恒温水浴锅（DZKW-S-8）维持电解过程温度恒定。

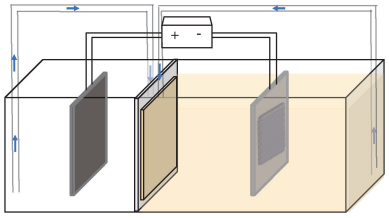


图 2 电解槽装置示意

Fig. 2 Schematic diagram of electrolytic cell apparatus

1.3 交换电流密度及传递系数计算方法

塔菲尔方程如下：

$$\eta = a + b\lg i。 \tag{1}$$

式中：η—过电位（电极电位与平衡电位的偏差），V；i—电流密度，A/m^2；a—与电极材料、电解质浓度等因素相关的常数；b—塔菲尔曲线斜率，决定过电位与电流密度之间的关系。

斜率 b 与传递系数 α 成反比，截距 a 与交换电流密度 i^0 的对数相关，将 b 和 a 带入式(2)、(3)可计算出 α 及 i^0[14]：

$$\alpha = \frac{2.303RT}{bnF}, \tag{2}$$

$$i^0 = 10^{-a/b}。 \tag{3}$$

式中：R—气体常数，8.314 J/(mol·K)；T—热力学温度，K；α—传递系数，表示反应中电子转移的对称性；n—电子转移数；F—法拉第常数，96 485 C/mol；i^0—交换电流密度，A/m^2。

1.4　分析表征方法

电解液成分采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP，Agilent 5110，USA)进行分析。采用扫描电子显微镜(SEM，ZEISS)表征阴极锑的形貌；采用 X 射线荧光光谱仪(XRF，Xenemetrix，USA)检测阴极锑的纯度。在指定的电解周期结束时，从电解槽中取出阴极板，剥板得到锑沉积层，用超纯水彻底清洗、干燥并称重，记录阴极锑沉积物的总质量，并根据法拉第定律，采用式(4)计算电流效率 η，之后再采用式(5)计算电能消耗(每生产 1 t 阴极锑所消耗的电能)。

$$\eta = \frac{m}{1.514It} \times 100\%。 \tag{4}$$

式中：t—电解时间，h；I—电流，A；m—阴极锑质量，g；1.514 是锑的电化学当量，g/(A·h)。

$$W = \frac{1\,000V}{1.514\eta}。 \tag{5}$$

式中：V—平均槽电压，V；W—电能消耗，kW·h/t。

2　试验结果与讨论

2.1　喷砂表面预处理对阴极电沉积行为的影响

在电解温度为 60 ℃、稳态极化曲线起始电位为−0.80 V、终止电位为−1.10 V、扫描速度为 10 mV/s条件下，分别测定阴极表面未喷砂处理和经过喷砂处理后的阴极极化曲线，结果如图 3(a)所示。可知，阴极表面经过喷砂处理后，相较于未经喷砂处理时的起始电位明显向左正移，且在同一电位下，电流密度显著增大，说明阴极表面经喷砂处理后可降低锑离子阴极还原能垒，并使锑离子的阴极还原速率明显加快。将极化曲线转化成塔菲尔曲线，结果如图 3(b)所示。

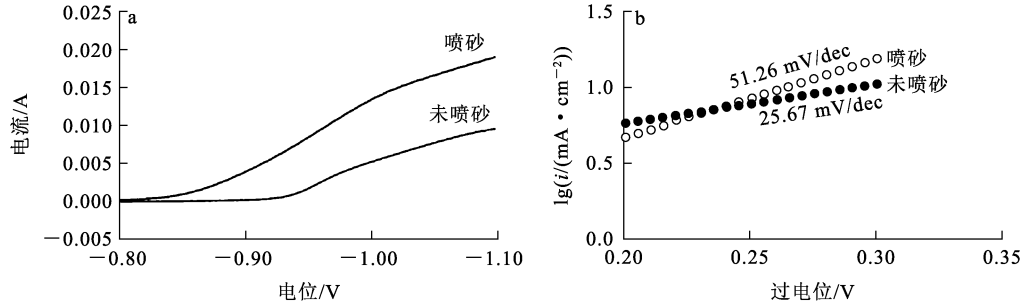


图 3　极化曲线(a)及塔菲尔拟合曲线(b)

Fig. 3　Polarization curves (a) and Tafel fitting curves (b)

根据塔菲尔曲线拟合结果，计算阴极表面未经喷砂处理和经喷砂处理后锑阴极还原反应的动力学参数，结果见表 2。

表 2　锑阴极还原反应的传递系数 α 及交换电流密度 i^0

Table 2　Transfer coefficient α and exchange current density i^0 of antimony cathode reduction reaction

处理方式	α	i^0/(A·cm^{-2})
未经喷砂处理	0.39	1.02×10^{-7}
经喷砂处理	0.78	1.21×10^{-3}

由表 2 可知，阴极表面经喷砂处理后，α 和 i^0 均比未经喷砂时明显增大，表明喷砂可加快锑离子在阴极的还原反应速率，并使阴极极化增大，从而使还原反应不可逆性增加。

2.2　喷砂表面预处理对成核机理的影响

在电解温度为 60 ℃、初始电位为 0.80 V、终止电位为−1.50 V、扫描速度为10 mV/s条件下，测定了阴极表面未经喷砂处理和经喷砂处理的锑阴极还原反应循环伏安曲线，如图 4 所示。可知，喷砂可使得锑离子电化学反应的起始电位明显左移，且在相同电位下，经喷砂处理后电极上的电流密度明显高于未经喷砂处理，说明喷砂处理可降低阴极还原反应能垒，显著加快电化学反应速率。

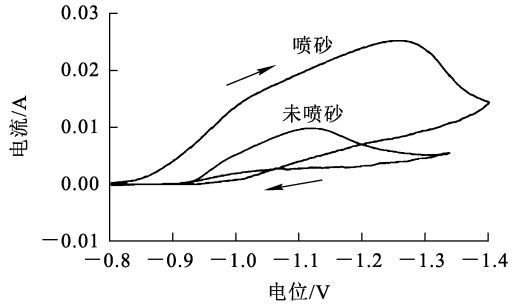


图 4 未经喷砂和经喷砂预处理的阴极表面上锑离子还原循环伏安曲线

Fig. 4 Cyclic voltammetry curves of antimony ion cathode reduction without or with sandblasted treatment on cathodic surface

为进一步分析阴极表面喷砂处理对锑形核过程的影响，分别测定了阴极表面未经喷砂和经喷砂处理后的电极反应的电流-时间暂态曲线，所测电位范围为−0.96～1.24 V，阶跃时间为 0～8 s，电解温度为 60 ℃，结果如图 5 所示。可知，未经喷砂处理的工作电极上电流-时间暂态曲线呈平缓上升趋势，且达到峰值电流所需时间 t_{max} 较长，这是二维生长的渐近动力学特征的直观体现[15-16]；相较而言，经过喷砂处理的阴极表面表面较粗糙，可为阴极锑原子形核提供更多台阶，使得暂态曲线上升段斜率增大、峰值电流密度 i_{max} 显著增加、成核诱导期 t_{max} 缩短。

根据图 5 不同电位下的峰值电流 i_{max} 及对应的阶跃时间 t_{max}，绘制 i/i_{max}-t/t_{max} 关系曲线，如图 6 所示。

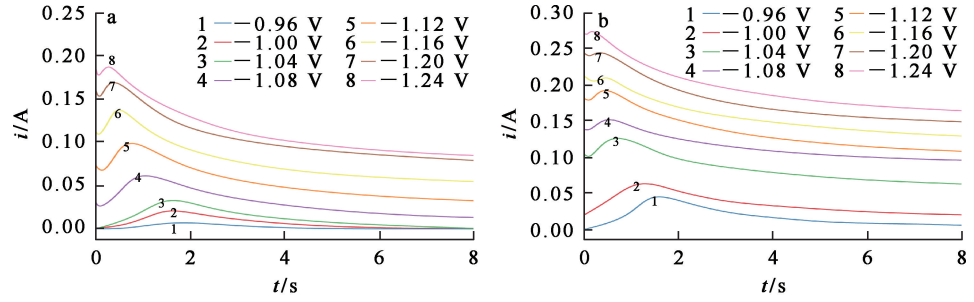


图 5 未经喷砂预处理(a)和经喷砂预处理(b)的阴极电流-时间暂态曲线

Fig. 5 Time-current transient curves of antimony ion cathode reduction without (a) or with sandblasted treatment on cathodic surface (b)

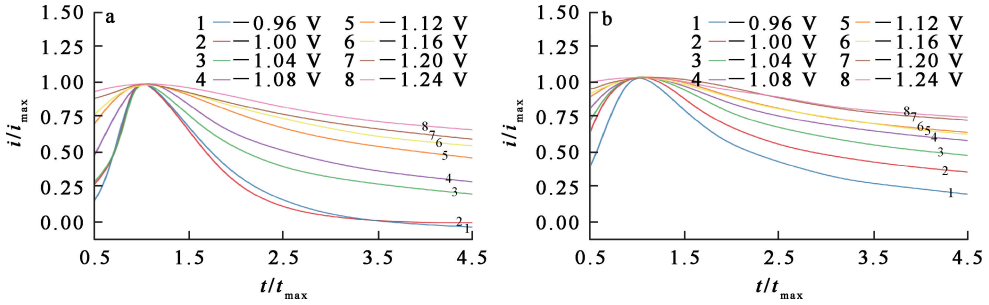


图 6 未经喷砂预处理(a)和经喷砂预处理(b)的阴极锑还原 i/i_{max}-t/t_{max} 关系曲线

Fig. 6 Relationship curves of i/i_{max}- t/t_{max} of antimony ion cathode reduction without (a) or with (b) sandblasted treatment on cathodic surface

由图 6(a)可知，未经喷砂预处理的工作电极在不同电位下的时间电流暂态转换曲线在峰值(t/t_{max}=1)附近重合度较高，达到峰值电流后下降较快。依据 Scharifker-Hills 成核理论[17-18]，在低跃迁电位(−0.96～−1.04 V)遵循二维成核生长机理。在高越阶电位(−1.04～−1.24 V)曲线出现三维成核生长机理的特征。由图 6(b)可知，在低跃迁电位下曲线已出现三维成核生长

机理特征。这主要是由于经喷砂处理后阴极电流密度显著增大，使得单位时间内还原速率加快，能生成更多的晶核；同时适宜的喷砂粒度使工作电极表面具备了一定粗糙度，这为阴极还原生成的锑原子提供了更多生长平台，降低了形核能垒，提高了活性表面积，从而有效促进了锑原子的形核和生长动力学条件。

图 7 为锑元素分布的 EDS 图。由图 7(a)可知，未喷砂阴极沉积锑表面平整度高，锑的电沉积分布相对稀疏且离散；由图 7(b)可知，喷砂处理通过增加表面粗糙度，形成大量活性位点，使锑分布更密集均匀。这表明喷砂处理能优化电极表面结构，显著提升锑沉积的均匀性与致密性。

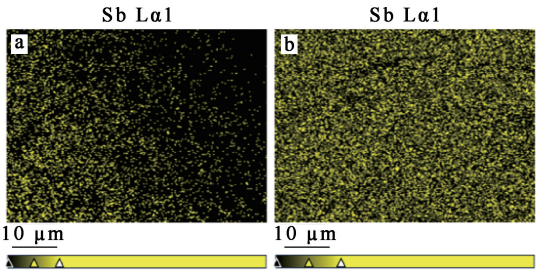


图 7　未经喷砂预处理(a)和经喷砂预处理(b)的阴极锑 EDS 分布

Fig. 7　EDS distribution diagrams of antimony ion cathode reduction without (a) or with sandblasted treatment on cathodic surface (b)

2.3　喷砂粒度对电沉积的影响

喷砂粒度对电沉积过程阴极电流效率的影响如图 8 所示。可知，随喷砂粒度增加，电流效率呈逐渐上升趋势；在未进行喷砂处理的阴极板上，阴极电流效率为 77.16%，这是因为未经喷砂处理的阴极板表面相对光滑，活性位点相对较少，还原生成的锑原子形核所需能垒较高，导致电流效率不高；在经喷砂技术处理的阴极板上，阴极电流效率随喷砂粒度增加而升高，粒度增至 100 目时可升至 80%以上。这说明喷砂处理能有效增加阴极板表面粗糙度，使表面形成更多微观生长台阶，为电沉积反应提供更多的活性位点，促进锑离子在阴极表面吸附和还原生成的锑原子的形核过程，进而提高电流效率。

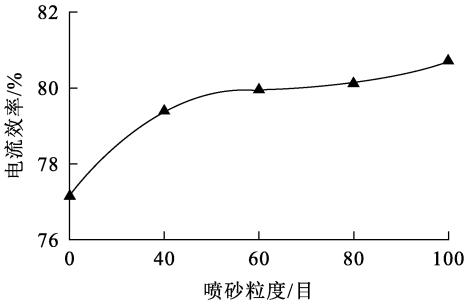


图 8　喷砂粒度对电流效率的影响

Fig. 8　Effect of sandblasting particle size on current efficiency

喷砂粒度对槽电压和直流电耗的影响如图 9 所示。可知，喷砂粒度变化对槽电压有显著影响：喷砂粒度较小时，槽电压较高；随喷砂粒度增大，槽电压逐渐降低，从 40 目时的 2.152 V 降至 100 目时的 2.008 V，同时，直流电耗也随之减小，从 40 目时的 1 760.83 kW·h/t 减至 100 目时的 1 643.48 kW·h/t。这是因为喷砂处理有效改变了阴极表面的微观形貌和异质界面结合效果，随喷砂粒度增大，阴极表面粗糙度增加，电流密度线分布均匀，促进了锑在阴极表面的形核和生长，增强了 Fe-Sb 表面结合力，降低了界面电压降，从而减小了电能消耗。

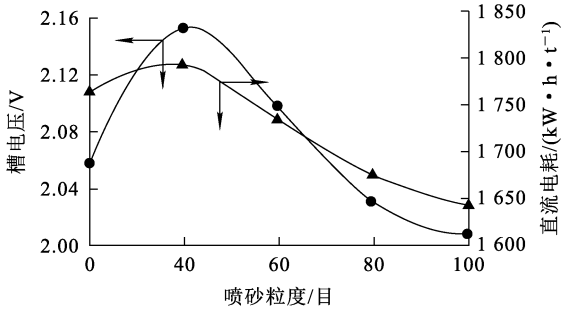


图 9　喷砂粒度对槽电压及直流电耗的影响

Fig. 9　Effects of sandblasting particle size on cell voltage and DC power consumption

采用 XRF 分析不同喷砂粒度条件下所得阴极锑纯度，结果如图 10 所示。可知，采用喷砂技术处理阴极板可显著提高阴极锑纯度：当阴极板未经喷砂处理时，由于二维成核所生成晶核较少，晶粒比较粗大，结晶不致密，造成阴极沉积层易包埋杂质，从而使阴极锑纯度降低；而经过喷砂处理后，阴极板表面状态得到改善，阴极沉积层更加致密光滑，进而显著提升了其纯度。喷砂粒度≤60 目时，阴极锑纯度

随喷砂粒度增大而显著提高，这是因为随喷砂粒度增大，阴极表面锑三维成核所生成的晶核数更多，锑沉积层更为致密光滑，可有效避免杂质的包埋；但喷砂粒度＞60 目后，阴极锑纯度基本趋于平稳，这是因为喷砂粒度超过 60 目时，阴极表面晶核生长数量趋于饱和，进一步增大喷砂粒度，阴极沉积层致密度改善不大，因此阴极锑纯度也基本无明显变化。

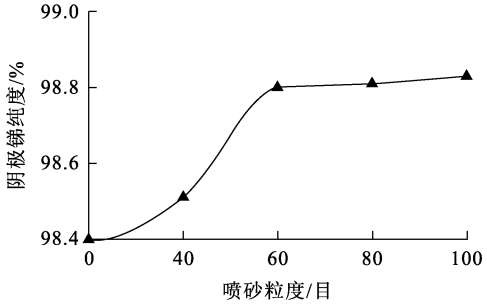


图 10 喷砂粒度对阴极锑纯度的影响

Fig. 10 Effect of sandblasting particle size on cathode antimony purity

采用扫描电镜分析不同喷砂粒度条件下所得阴极锑表面形貌，结果如图 11 所示。可以看出：未经喷砂处理时铁基阴板上沉积的锑沉积层形貌较为粗糙，颗粒状突起明显，且在长周期电沉积过程中锑沉积层会从中部翘板和开裂，对生产影响较大；喷砂粒度为 40 目时，阴极锑沉积形貌趋于均匀；喷砂粒度≥60 目时，阴极锑沉积形貌明显变好，阴极锑结晶致密光滑。值得注意的是，当喷砂粒度增至 100 目时，沉积形貌明显改善，但由于 Fe-Sb 界面结合力较强，锑沉积层与阴极板的剥离比较困难，会对自动剥锑机稳定运行造成影响。同时过大的喷砂粒度还可能造成铁基阴极板的耐腐蚀性能降低[19]。因此，综合考虑上述因素，确定适宜的喷砂粒度为 80 目。结合图8～10 可知，在该条件下，阴极电流效率达 80.1%，槽电压为2.031 V，直流电耗为 1 674.76 kW·h/t，且阴极锑纯度达 98.81%。

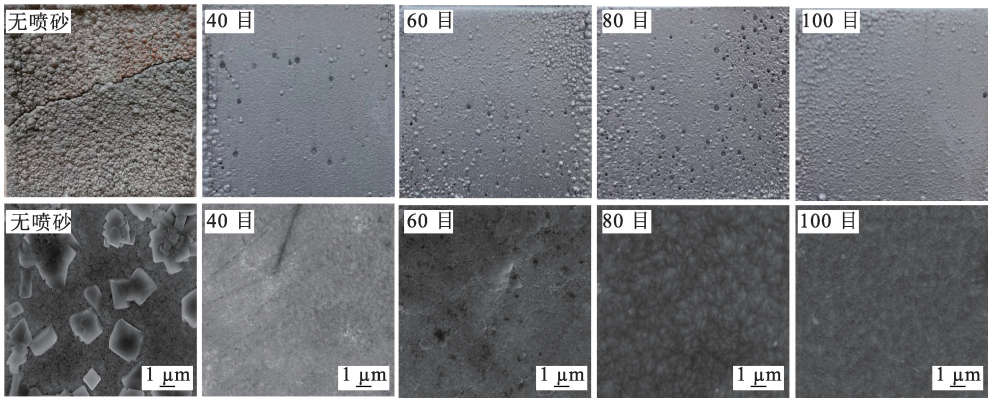


图 11 不同喷砂粒度下所得阴极锑的宏观照片及 SEM 分析结果

Fig. 11 Macroscopic and SEM images cathode antimony obtained under different sandblasting particle sizes

3 结论

将喷砂表面预处理技术用于锑电沉积过程是可行的。采用合理的喷砂处理工艺有利于改善锑电沉积的成核机理并提高电沉积过程的阴极电流效率，降低电能单耗，提高阴极锑的纯度和沉积形貌。但喷砂粒度过粗(≤40 目)时，阴极锑沉积质量改善效果较小；喷砂粒度过细(≥100 目)时，阴极自动剥锑难度会增加。针对碱性电沉积锑工艺，最佳的阴极板喷砂粒度为 80 目，在此条件下，阴极电流效率可提高至 80.1%，槽电压为 2.031 V，直流电耗降至 1 674.76 kW·h/t，且阴极锑纯度达 98.81%，经长周期电沉积可获得表面平整光滑的锑沉积层。喷砂表面预处理技术可为锑电沉积过程阴极沉积层易开裂难题提供可行方案，且操作简便，成本低廉，能显著提高锑电沉积工艺稳定性，使吨锑电能消耗显著降低，具有良好的推广应用价值。

后续研究可聚焦于喷砂工艺与电流密度、阴极表面状态、沉积物厚度等因素的关系研究，进而为锑电沉积过程提供更为精确的优化方案。此外，鉴于喷砂预处理技术在锑电沉积中的表现，进

一步研究该技术有望为铅、铜等其他金属电沉积过程的改善提供参考，从而拓宽其在金属电沉积领域中的应用范围。

参考文献：

[1] 朱宏伟. 第四代半导体浅析[J]. 自然杂志，2024，46(6)：444-447.
ZHU Hongwei. Analysis of the fourth-generation semiconductors[J]. Chinese Journal of Nature, 2024, 46(6): 444-447.

[2] 胡德鹏，王红真，路云峰，等. 锑化物半导体材料及其分子束外延生长研究进展[J]. 半导体技术，2025，50(3)：229-240.
HU Depeng, WANG Hongzhen, LU Yunfeng, et al. Research progress of antimonide semiconductor materials and their molecular beam epitaxial growth[J]. Semiconductor Technology, 2025, 50(3): 229-240.

[3] 曾平生，梁勇，杨飞，等. 用盐酸浸出—水解法从分银渣中分离锑铋铜[J]. 湿法冶金，2022，41(1)：5-9.
ZENG Pingsheng, LIANG Yong, YANG Fei, et al. Separation of Sb, Bi and Cu from silver-separated slag by hydrochloric acid leaching—hydrolysis[J]. Hydrometallurgy of China, 2022, 41(1): 5-9.

[4] 李中平. 中国锑行业发展现状及高质量发展建议[J]. 中国国土资源经济，2021，34(3)：17-20.
LI Zhongping. Development status and suggestions for high-quality development of china's antimony industry[J]. Natural Resource Economics of China, 2021, 34(3): 17-20.

[5] 刘洪吉. 中国锑业 2016[J]. 中国有色金属，2017(10)：46-49.
LIU Hongji. China's antimony industry in 2016[J]. China Nonferrous Metals, 2017(10): 46-49.

[6] WANG K, WANG Q M, CHEN Y L, et al. Material flow analysis of antimony and arsenic in the pyrometallurgical smelting process of antimony[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2023, 33(7): 2216-2230.

[7] AWE S A, SANDSTRÖM Å. Electrowinning of antimony from model sulphide alkaline solutions[J]. Hydrometallurgy, 2013, 137: 60-67.

[8] 李树昌，李楚颐，余延年. 改善电积锑阴极沉积状况的添加剂[J]. 矿冶工程，1983，3(1)：41-43.
LI Shuchang, LI Chuyi, YU Yannian. Additives for improving the cathodic deposition of electrowinning antimony[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 1983, 3(1): 41-43.

[9] NIETO K, WINDSOR D S, KALE A R, et al. Morphological & structural control of electrodeposited Sb anodes through solution additives and their influence on electrochemical performance in Na-ion batteries[J]. Journal of Physical Chemistry: C, 2023, 127(26): 12415-12427.

[10] 林艳，谢刚，杨大锦. H_2SO_4-NH_4F-SbF_3 体系中锑的电化学成核机理[J]. 有色金属(冶炼部分)，2010(2)：13-17.
LIN Yan, XIE Gang, YANG Dajin. Electrochemical nucleation mechanism of antimony in H_2SO_4-NH_4F-SbF_3 system[J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2010(2): 13-17.

[11] 刘彪，李兵虎，郑振，等. 原板的电化学酸洗对镀锡板表面形貌及孔隙率的影响[J]. 电镀与涂饰，2010，29(1)：19-21.
LIU Biao, LI Binghu, ZHENG Zhen, et al. Influence of electrochemical pickling of base plate on surface morphology and porosity of tin-coated sheet[J]. Electroplating & Finishing, 2010, 29(1): 19-21.

[12] 李俊摘. 高锑电解液的影响[J]. 中国有色冶金，2016，45(1)：1-5.
LI Junzhai. Influence of high-antimony electrolyte[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2016, 45(1): 1-5.

[13] AWE S A, SUNDKVIST J E, SANDSTRÖM Å. Formation of sulphur oxyanions and theirinfluence on antimony electrowinning from sulphide electrolytes[J]. Minerals Engineering, 2013, 53: 39-47.

[14] MAJIDZADE V A, GULIYEV P H, ALIYEV A S, et al. Electrochemical characterization and electrode kinetics for antimony electrodeposition from its oxychloride solution in the presence of tartaric acid[J]. Journal of Molecular Structure, 2017, 1136: 7-13.

[15] 李汶军，施尔畏，郑燕青，等. 氧化物晶体的成核机理与晶粒粒度[J]. 无机材料学报，2000(5)：777-786.
LI Wenjun, SHI Erwei, ZHENG Yanqing, et al. Nucleation mechanism and grain size of oxide crystals[J]. Journal of Inorganic Materials, 2000(5): 777-786.

[16] 冯谙，范利军，蔡陶，等. 电沉积二氧化锰成核机理及其充放电性能[J]. 应用化学，2015，32(9)：1081-1087.
FENG An, FAN Lijun, CAI Tao, et al. Nucleation mechanism of electrodeposited manganese dioxide and its charge-discharge performance[J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2015, 32(9): 1081-1087.

[17] LIU A M, REN X F, AN M Z. A composite additive used for a new cyanide-free silver plating bath (Ⅱ): an insight by electrochemical measurements and quantum chemical calculation[J]. New Journal of Chemistry, 2017, 41(19): 11104-11112.

[18] MÁRQUEZ K, STAIKOV G, SCHULTZE J W. Silver deposition on silicon and glassy carbon: a comparative study in cyanide medium[J]. Electrochimica Acta, 2003, 48(7): 875-882.

[19] 赵金龙，张华云. 喷砂对 45# 钢表面耐蚀性的影响[J]. 电镀与精饰，2023，45(3)：95-100.
ZHAO Jinlong, ZHANG Huayun. Influence of sandblasting on the corrosion resistance of 45# steel surface[J]. Plating & Finishing, 2023, 45(3): 95-100.

Effect of Cathodic Surface Sandblasting Pretreatment on Antimony Electrodeposition

GAO Qingli[1,2], CUI Yan[3], LIN Yan[1,2,4]

(1. *Faculty of Metallurgy and Energy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming* 650093, *China*;
2. *Yunnan China-Laos Joint International Research Center of Analysis and Technological Innovation for Energy, Mineral and Metallurgy, Kunming* 650093, *China*;
3. *School of Chemistry and Chemical Engineering, Kunming University, Kunming* 650214, *China*;
4. *State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization, Kunming University of Science and Technology, Kunming* 650093, *China*)

Abstract: In the process of extracting antimony by alkaline electro-deposition, problems such as cracking of the cathode deposited antimony, causing warping and shedding, occur due to insufficient interfacial bonding force between Sb and Fe, surface sandblasting pretreatment technology was proposed. The effects of the sandblasting pretreatment on the cathodic reduction and nucleation mechanism of antimony ions were systematically analyzed by combining cyclic voltammetry, steady-state polarization curves, and time-current transient curves. The results show that for the alkaline electro-deposition system of antimony, after sandblasting pretreatment of the iron-based cathode surface, the initial potential of the cathodic reduction reaction shifts to the left and positive. At the same overpotential, the current density is significantly increased compared to that without sandblasting treatment, and transfer coefficient and exchange current density are also enhanced. This indicates that the sandblasting treatment of the cathode surface can reduce the energy barrier of the cathodic reduction reaction of antimony ions, significantly increase the reduction reaction rate, and promote the three-dimensional nucleation process of antimony on the cathode surface, thereby obtaining a dense. well-shaped cathode antimony deposit layer. Further in-depth research was conducted on the influence of sandblasting particle size on the antimony electro-deposition process, and the optimal sandblasting particle size was determined to be 80 mesh. Under the condition, the cathode current efficiency is increased to 80.1%, the cell voltage is 2.031 V, the direct current power consumption per ton of antimony is reduced to 1674.76 kW · h/t, and the purity of cathode antimony reaches 98.81%.

Key words: sandblasting pretreatment; antimony; electrodeposition; interfacial adhesion force