

磁控溅射构筑 TiN-Pt 复合涂层提升钛扩散层性能

贾波, 王刚, 柴作强, 闫爱玲, 白文藕, 郝小军, 冯庆, 喻奇, 张文娇

(西安泰金新能科技股份有限公司, 陕西 西安 710021)

摘要: 钛扩散层表面改性可以有效抑制低导电性氧化膜的形成, 并提升其耐腐蚀性和电子导电性。通过磁控溅射技术成功在钛扩散层上构筑了 TiN-Pt 复合涂层, 揭示了 TiN 中间层对涂层表面形貌、亲水性、接触电阻及耐蚀性的影响规律。研究表明: 随着中间层厚度增加至 4 μm , 样品表面形貌呈现液滴飞溅和冷凝特征, 涂层的结合力和亲水性得到了提升, 样品接触电阻降低至 9.58 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$, 腐蚀电流密度降低至 $1.81\times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ 。在模拟质子交换膜水电解槽环境下进行测试, 当电流密度为 4 A/cm^2 时, 复合涂层槽压仅为 2.18 V; 在 2 A/cm^2 电流密度下进行稳定性测试, 样品在超过 1100 h 的测试中未表现出衰减现象, 展现出显著的应用价值。

关键词: 磁控溅射; 钛扩散层; TiN-Pt 复合涂层

中图分类号: TG174.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-9964(2026)04-024-07

Performance Enhancement of Titanium Diffusion Layers by Magnetron Sputtering TiN-Pt Composite Coatings

Jia Bo, Wang Gang, Chai Zuoqiang, Yan Ailin, Bai Wenou, Hao Xiaojun, Feng Qing, Yu Qi, Zhang Wenjiao

(Xi'an Taijin New Energy & Materials Sci-Tech Co., Ltd., Xi'an 710021, China)

Abstract: Surface modification of titanium diffusion layers can effectively prevent the formation of low-conductivity oxide films while enhancing corrosion resistance and electronic conductivity. This study successfully constructed a TiN-Pt composite coating on a titanium diffusion layer using magnetron sputtering technology. The influence of a TiN interlayer on the coating's surface morphology, hydrophilicity, contact resistance, and corrosion resistance was systematically investigated. The results demonstrate that as the interlayer thickness increases to 4 μm , the surface morphology exhibits droplet splashing and condensation characteristics, leading to improved coating adhesion and hydrophilicity. The contact resistance decreases to 9.58 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$, and the corrosion current density reduces to $1.81\times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$. Under simulated proton exchange membrane water electrolyzer (PEMWE) conditions, the composite coating achieves a cell voltage of 2.18 V at a current density of 4 A/cm^2 . During a stability testing at 2 A/cm^2 , the sample exhibits no degradation over 1100 h, highlighting its significant application potential.

Keywords: magnetron sputtering; titanium diffusion layer; TiN-Pt composite coating

在碳达峰、碳中和目标背景下, 利用可再生间歇能源电解水制氢已成为当前最具发展潜力的研究方向之一^[1-5], 化石能源被清洁氢能替代已是必然趋势。质子交换膜水电解槽(PEMWE)是一种理想的产氢装置, 具有电流密度高、运行安全可靠、工作温度低、环境友好等优势^[6-8]。作为电解槽的核心组件, 多孔传输层起着高效传递反应物、排出产物气体并均匀分布电流的作

用, 直接影响电解效率和耐久性^[9-11]。

钛以其良好的导电性和优异的耐腐蚀性著称, 烧结钛板^[12]、钛网^[13]、钛箔^[14]及钛毡^[15-16]被广泛用作 PEMWE 阳极多孔传输层。但在实际应用中, 这些材料仍存在一定的局限性: 烧结钛板厚度过大会导致体积庞大且导电能力下降, 表面粗糙易损伤膜电极, 孔隙率低、孔径细小会增大传质阻力; 钛网孔径过大导致与催化剂层的接触面积减少, 进而降低催化剂的利用率。相比之下, 钛毡的厚度和孔隙率更易调控, 在 PEMWE 应用中其厚度通常为百微米量级, 孔隙率介于 30%~50%之间^[17], 这种

收稿日期: 2025-12-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFB4002100)

通信作者: 王刚(1998—), 男, 工程师。

结构更有利于维持质子交换膜内部稳定的两相传输过程。然而,钛毡表面易形成氧化钝化膜,导致接触电阻增加并降低制氢效率^[18]。通过合理设计涂层解决上述问题对于提升 PEMWE 性能至关重要。

选择合适的涂层种类可提升 PEMWE 的电解效率与耐久性,使其保持高效稳定运行。Liu 等^[19]针对不同贵金属涂层的研究表明,经过 4000 h 耐久性测试后,铂(Pt)和铱(Ir)涂层均表现出优异的保护效果。Deng 等^[20]开发了含复合微孔层的多孔传输层,经真空烧结形成的碳化钛(TiC)层在酸性环境与高电位条件下具有优异的抗腐蚀性能;相较于纯钛毡参照组,该多孔传输层展现出更优的亲水性。Gao 等^[21]通过磁控溅射在钛基传输层上沉积了 TaN 涂层,该涂层具有最低的腐蚀电流密度($2.82 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$);经过 10 h 恒电位极化测试后,在氮气流量为 3 mL/min 条件下沉积的 TaN 涂层表面腐蚀坑较少。Kang 等^[22]制备了 Au 薄膜表面改性的新型扩散层,与传统钛扩散层相比,其性能更优异,PEMWE 电压从 1.68 V 降低至 1.63 V。但贵金属成本较高,无法满足大规模商用需求,因此还需对现有涂层作进一步改性研究。

氮化钛(TiN)凭借高导电性、卓越的化学稳定性、与钛基体的良好界面相容性以及低成本等优势,成为 PEMWE 扩散层改性的常用涂层材料之一。本研究采用磁控溅射与电弧离子镀相结合的工艺,制备了一种新型 TiN-Pt 复合涂层。该涂层不仅展现出与纯 Ir 涂层相近的保护效果,还具备显著的成本优势。在制备过程中,通过精确控制溅射时间,实现了 Pt 涂层厚度的精确调控。电解槽测试证实,该复合涂层能有效提升 PEMWE 的耐久性。这一成果为 PEMWE 扩散层的高效、低成本改性提供了新的技术路径,对于推动水电解制氢技术的商业化应用具有重要意义。

1 实验

实验所用制氢扩散层为钛毡,尺寸为 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 0.2 \text{ mm}$,化学成分(质量分数,%)如下: $\text{Ti} \geq 99.0$, $\text{Fe} \leq 0.20$, $\text{O} \leq 0.18$, $\text{C} \leq 0.08$, $\text{N} \leq 0.03$, $\text{H} \leq 0.015$ 。为去除钛毡表面污染物,对其进行彻底清洗,具体步骤如下:先将钛毡浸入超纯水中,加热至 80°C 并保持 15 min;随后置于异丙醇与丙酮的混合液中超声处理 15 min;最后用 60°C 去离子水浸泡清洗 2 次,每次 10 min,并于室温下自然风干。

采用 MS550B 型高真空磁控溅射仪在钛毡表面制备 TiN 涂层,其原理如图 1 所示。利用高纯氩气(99.999%)等离子体清除靶材与基体表面的氧化物,当腔体真空度低于 $3 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 时开始沉积 TiN。在整个过

程中,高纯氮气以 20 mL/min 的流量引入腔室,溅射靶材为 Ti 靶(纯度 99%),溅射功率为 1 kW,溅射温度为 300°C ,通过调控溅射时间分别得到厚度为 0.25、0.5、1、4 μm 的 TiN 中间层。随后,以 Pt 靶为溅射靶材,在 4 种厚度的中间层样品上均溅射 0.3 μm 厚的 Pt 层,得到 TiN-Pt 复合涂层,溅射功率为 0.5 kW,溅射温度为 200°C ,溅射时间为 600 s。此外,以相同工艺直接在钛毡上溅射 0.5 μm 厚的 Pt 涂层作为对比样品。

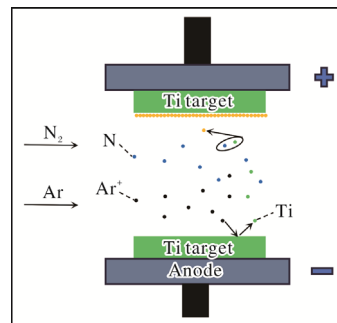


图1 磁控反应溅射制备 TiN 涂层示意图

Fig.1 Schematic diagram of TiN coating preparation by magnetron reactive sputtering

采用电化学工作站(上海辰华)进行电化学性能测试。工作电极为钛毡,工作面积为 1.4 cm^2 ;对电极为铂电极,参比电极为饱和甘汞电极(SCE)。电解液为 $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HF}$ 混合液(H_2SO_4 浓度为 0.5 mol/L , HF 浓度为 $1 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$),测试温度为 80°C 。先测量样品的稳定开路电位,随后在 $-0.2 \sim 2 \text{ V (vs. SCE)}$ 范围内进行动电位极化测试,扫描速率为 2 mV/s ,以分析样品在工作电位条件下的动态响应及电位对耐蚀性的影响。通过 Tafel 拟合得到腐蚀电位和腐蚀电流密度等参数。

采用 D/MAX-2200 型 X 射线衍射仪(XRD)分析钛毡扩散层的物相组成,射线源为 $\text{Cu K}\alpha$ 射线,电压为 40 kV ,电流为 40 mA ,扫描速度为 $8^\circ/\text{min}$,扫描范围(2θ)为 $5^\circ \sim 90^\circ$;采用赛默飞 ESCALAB Xi⁺ X 射线光电子能谱仪(XPS)分析薄膜表面元素的化学价态。

图 2 为接触电阻(R_{IC})测试装置示意图,用于测定不同压力下样品的接触电阻。测试时,将样品先放置在两片与样品形状一致的疏水碳纸之间,再置于两个镀金铜圆柱体之间进行压缩,测得总电阻记为 R_1 。此外,在圆柱体之间单独放置一张相同形状的碳纸,测得总电阻记为 R_2 。样品 R_{IC} 可按公式(1)计算:

$$R_{\text{IC}} \approx \frac{R_1 - R_2}{2} \quad (1)$$

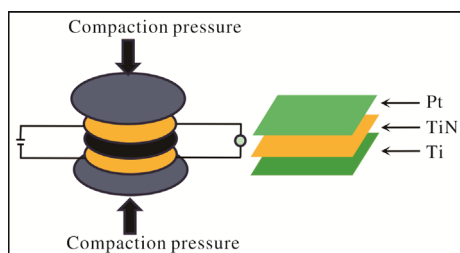


图2 接触电阻测试装置示意图

Fig.2 Schematic diagram of contact resistance test setup

2 结果与讨论

2.1 涂层形貌与亲水性

图3为Pt涂层和TiN-Pt涂层的表面形貌、截面形貌及接触角测试结果。由Pt涂层表面形貌(图3a)可以看出,样品表面光滑平整,存在少量裂纹;由Pt涂层截面形貌(图3b)可以看出,Pt涂层均匀覆盖在基材表面,涂层厚度约为 $0.5\mu\text{m}$;由Pt涂层样品亲水性测试结果(图3c)可知,其接触角为 94.23° 。

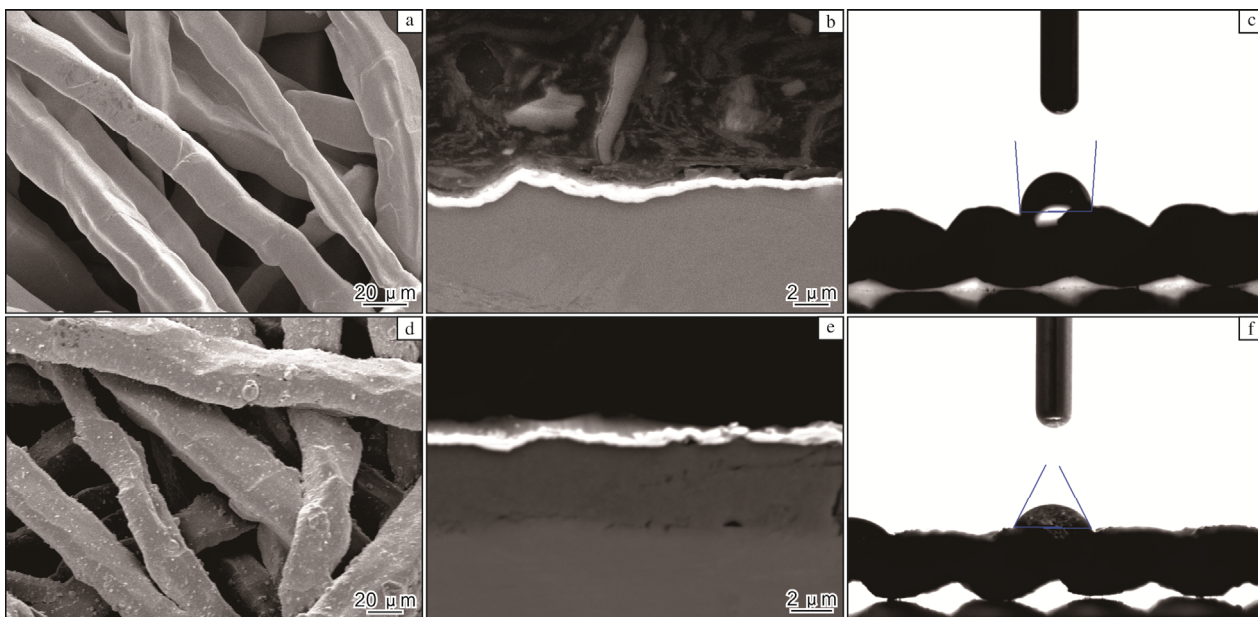


图3 Pt涂层与TiN-Pt涂层的表面形貌、截面形貌及接触角测试结果

Fig.3 Surface morphologies (a, d), cross-sectional morphologies (b, e), and contact angle test (c, f) of Pt and TiN-Pt coatings: (a–c) Pt coating; (d–f) TiN-Pt coating

由TiN-Pt涂层表面形貌(图3d)可以看出,引入TiN中间层的钛毡表面呈现出明显的液滴飞溅和冷凝特征,表明其表面发生粗化,这种粗糙表面有利于增强Pt涂层的结合力。同时,TiN与基体(TiO_2/Ti)具有相近的热膨胀系数,能抑制热应力裂纹的产生。由TiN-Pt样品截面形貌(图3e)可以看出,深色TiN层厚度约为 $4\mu\text{m}$,致密覆盖在Ti基体表面,有利于保护基体免受腐蚀;Pt涂层厚度约为 $0.3\mu\text{m}$,提高了样品的导电性能,有利于降低样品表面接触电阻。由TiN-Pt涂层样品的亲水性测试结果(图3f)可知,其接触角为 63.29° ,说明TiN的引入提高了钛扩散层的亲水性。

2.2 物相组成

为确认涂层的相组成和晶体结构,对制备的涂层样品进行X射线衍射(XRD)和X射线光电子能谱(XPS)分析,结果如图4所示。由XRD谱图(图4a)可以看出,

在涂层样品中观察到面心立方TiN (PDF#38-1420)的(111)和(200)晶面衍射峰,证明所制备的薄膜为TiN相,且其特征峰强度随中间层TiN厚度增加而提高。然而,样品的衍射峰位置相对于标准卡片略微向高角度偏移,表明晶面间距减小,这是由氧掺杂引起的晶格畸变所致。

由TiN样品的全谱XPS谱图(图4b)可知出,除C 1s特征峰外,TiN样品还出现了Ti 2p、N 1s和O 1s的特征峰。Ti 2p的XPS谱图(图4c)可分峰拟合为Ti—N、Ti—N—O和O—Ti—O三组双峰,其中氧元素主要来源于空气中的吸附^[23]。Ti 2p光谱由Ti 2p_{3/2}和Ti 2p_{1/2}峰组成,分别位于结合能范围453~460 eV和460~470 eV之间,证明了TiO₂和TiN的存在。458 eV和463 eV处的峰可归因于钛粒子流在高温下与空气中的O、N发生反应生成TiN_xO_y。N 1s的XPS谱图(图4d)可以

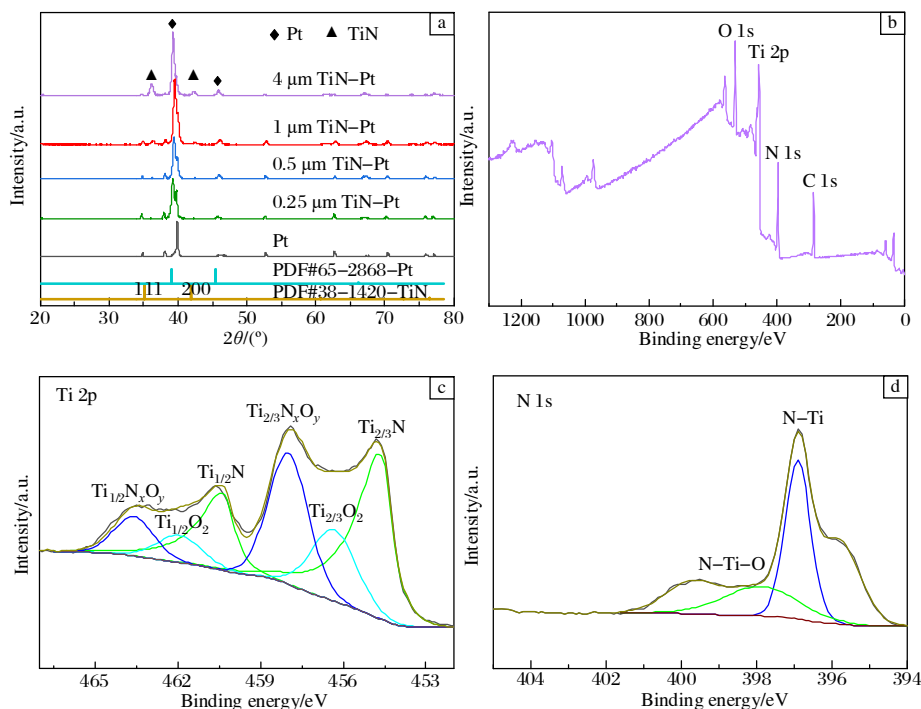


图 4 TiN 样品的 XRD 和 XPS 谱图

Fig.4 XRD patterns (a) and XPS spectroscopies (b-d) of TiN samples: (b) full survey spectrum; (c) Ti 2p orbitals; (d) N 1s orbitals

解析出 2 种峰, 分别对应于 N—Ti 和 N—Ti—O, 进一步证明了 TiN 的存在^[24-25]。

2.3 接触电阻与腐蚀电流

在 PEM 电解槽中, 接触电阻通常对电解槽能耗影响显著。因此, 本研究评估了所有样品在不同压实力下的接触电阻, 结果如图 5 所示。由图 5 可知, 随着压实力的增大, 样品致密度提高, 界面接触点数量增加; 当压实力达到一定水平后, 样品的可压缩性降低, 接触电阻的变化趋于平缓。与 Pt 样品相比, TiN-Pt 样品的接触电阻更低, 表明添加中间层能有效提高样品的导电性能, 从而有效降低接触电阻。当 TiN 中间

层厚度为 4 μm 时, 样品的接触电阻降至最低, 约为 $9.58 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 。

图 6 为不同厚度中间层样品在模拟 PEMWE 工作环境(80°C , $0.5 \text{ mol/L H}_2\text{SO}_4 + 1 \times 10^{-5} \text{ mol/L HF}$)下的动电位极化曲线。由图 6 可以看出, 相比 Pt 涂层, TiN-Pt 复合涂层的耐蚀性显著增强, 并且随着中间层 TiN 厚度的增加, 腐蚀电流密度由单一 Pt 涂层的 $2.51 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$ 分别降低至 7.91×10^{-6} 、 5.12×10^{-6} 、 2.88×10^{-6} 和 $1.81 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ 。这是因为 TiN 中间层更加致密地覆盖在基体表面, 具有更好的耐腐蚀性能, 对基体起到了良好的保护作用。

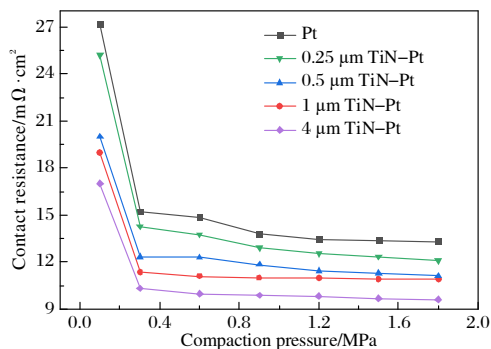


图 5 不同厚度中间层样品的接触电阻随压实力变化曲线

Fig.5 Contact resistance vs. compaction pressure curves of samples with different intermediate layer thicknesses

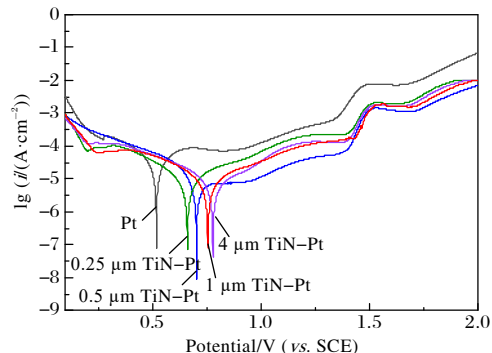


图 6 不同厚度中间层样品的动电位极化曲线

Fig.6 Potentiodynamic polarization curves of samples with different intermediate layer thicknesses

2.4 PEMWE 性能测试

在模拟 PEMWE 环境下进行测试,可以直观且准确地反映含不同厚度 TiN 中间层的扩散层在实际运行工况下的性能变化。为此,采用性能一致的膜电极,在模拟 PEMWE 环境下开展极化曲线测试,结果如图 7a 所示。从图 7a 可以看出,与直接沉积 Pt 的扩散层相比,含 TiN 中间层的扩散层槽压大幅降低。在 4 A/cm^2 电流密度下,直接沉积 Pt 的扩散层槽压为 2.5 V ,而含 $4 \mu\text{m}$ TiN 中间层的扩散层槽压仅为 2.18 V ,充分证明了复合涂层在电解槽应用中的性能优势。

为探究槽压大幅降低的原因,对不同厚度中间层样品进行了电化学阻抗谱(EIS)测试,并采用等效电路

模型对数据进行拟合分析,结果如图 7b 所示。由图 7b 可以看到,引入 TiN 中间层后,界面电阻明显降低,样品催化活性得到提升,且电解液离子在扩散层多孔结构内部的传输加快;此外,随着 TiN 中间层厚度的增加,Nyquist 图中的半圆弧半径逐渐减小,表明 TiN 中间层能有效降低界面接触电阻,提高扩散层的导电性。在 80°C 、 2 A/cm^2 条件下对样品进行稳定性测试,结果如图 7c 所示。由图 7c 可知,与 Pt 样品相比,TiN-Pt 样品表现出更低的电压,且在长达 1100 h 的测试周期内未出现明显的性能衰减。Pt 样品与 TiN-Pt 样品经长期运行测试后的表面形貌如图 8 所示。由图 8 可知,Pt 样品表面出现了大面积涂层脱落,而 TiN-Pt 样品涂

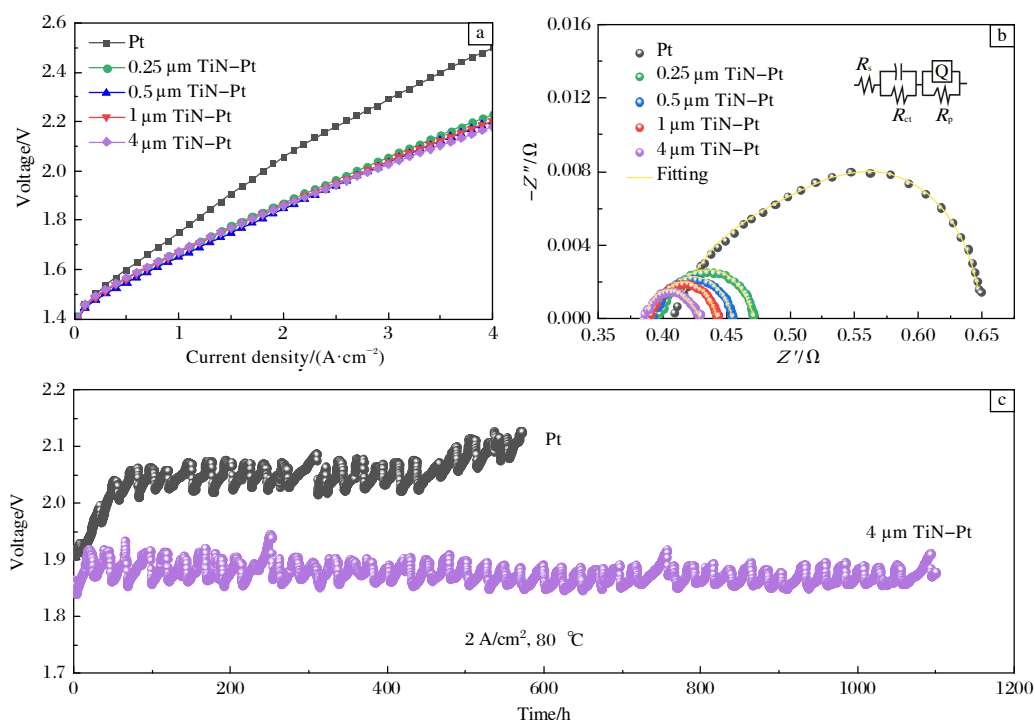


图 7 不同样品 PEMWE 性能测试结果

Fig.7 Performance test results of different samples in PEMWE: (a) polarization curves; (b) AC impedance spectra; (c) voltage-time curves for stability testing

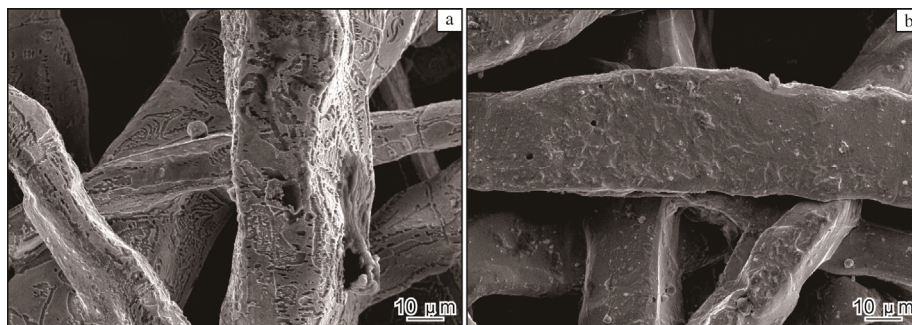


图 8 不同样品 PEMWE 测试后的表面形貌

Fig.8 Surface morphologies of different samples after PEMWE testing: (a) Pt coating; (b) $4 \mu\text{m}$ TiN-Pt coating

层仍保持完整,进一步证实了该复合涂层具有优异的界面结合力。上述结果表明,TiN-Pt 复合涂层对于降低扩散层成本具有重要的工程意义。

3 结 论

(1) 采用磁控溅射技术在钛扩散层上制备了 TiN-Pt 复合涂层。TiN 中间层增强了与 Pt 层的结合力,有效抑制了热应力裂纹的产生,从而确保了涂层在长期服役条件下的结构完整性。

(2) TiN-Pt 复合涂层显著降低了界面接触电阻(最低至 $9.58 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$)和腐蚀电流密度(由单一 Pt 涂层的 $2.51\times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$ 降低至 $4 \mu\text{m}$ TiN-Pt 涂层的 $1.81\times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$),表明其具有更优异的导电性和耐腐蚀性。

(3) 在模拟 PEMWE 环境下进行测试,电流密度为 4 A/cm^2 时,直接沉积 Pt 的扩散层槽压为 2.5 V ,而增加 $4 \mu\text{m}$ TiN 中间层的扩散层槽压降至 2.18 V ,表明 TiN 中间层有助于降低 PEM 电解槽能耗。

(4) TiN-Pt 复合涂层样品在 2 A/cm^2 电流密度下稳定运行超过 1100 h 未表现出衰减现象,表明该复合涂层对于降低扩散层成本具有重要工程意义。

参考文献 References

- [1] Bin S Y, Chen Z Y, Zhu Y X, et al. High-pressure proton exchange membrane water electrolysis: current status and challenges in hydrogen production[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2024, 67: 390-405.
- [2] Feng Z, Zhang Y X, Li Z J, et al. Advancements of innovative water electrolyzers for hydrogen production[J]. Science China Materials, 2025, 68: 2191-2204.
- [3] Jiao K, Xuan J, Du Q, et al. Designing the next generation of proton-exchange membrane fuel cells[J]. Nature, 2021, 595: 361-369.
- [4] Wang M, Teng J J, Zaman S H, et al. Optimized mass transfer in a Pt-based cathode catalyst layer for PEM fuel cells[J]. Green Chemistry, 2024, 26(8): 4432-4448.
- [5] Yuan S, Zhao C F, Mei X H, et al. Bubble management in PEM water electrolysis via imprinting patterned grooves on catalyst layer[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2023, 212: 124249.
- [6] Zhao X R, Che M Q, Gong Y Q. Synthesis and performance study of $\text{Fe}_2\text{WO}_6@ \text{Ni}_3\text{S}_2\text{-WS}_2/\text{NF}$ for efficient electrolytic water to hydrogen[J]. Sustainable Materials and Technologies, 2025, 43: e01302.
- [7] Yan Q S, Feng J, Shi W J, et al. Chromium-induced high covalent Co—O bonds for efficient anodic catalysts in PEM electrolyzer[J]. Advanced Science, 2024, 11(25): 2402356.
- [8] Chen G Y, Wang C, Lei Y J, et al. Gradient design of Pt/C ratio and Nafion content in cathode catalyst layer of PEMFCs[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2017, 42(50): 29960-29965.
- [9] Zhang S H, Wang Z H, Zhang R L, et al. Comprehensive study and optimization of membrane electrode assembly structural composition in proton exchange membrane water electrolyzer[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2023, 48(91): 35463-35476.
- [10] Prestat M. Corrosion of structural components of proton exchange membrane water electrolyzer anodes: a review[J]. Journal of Power Sources, 2023, 556: 232469.
- [11] Qiu C, Xu Z K, Chen F Y, et al. Anode engineering for proton exchange membrane water electrolyzers[J]. ACS Catalysis, 2024, 14(2): 921-954.
- [12] Schuler T, Ciccone J M, Krentscher B, et al. Hierarchically structured porous transport layers for polymer electrolyte water electrolysis[J]. Advanced Energy Materials, 2020, 10(2): 1903216.
- [13] Siracusano S, Di Blasi A, Baglio V, et al. Optimization of components and assembling in a PEM electrolyzer stack[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2011, 36(5): 3333-3339.
- [14] Kang Z Y, Yang G Q, Mo J K, et al. Novel thin/tunable gas diffusion electrodes with ultra-low catalyst loading for hydrogen evolution reactions in proton exchange membrane electrolyzer cells[J]. Nano Energy, 2018, 47: 434-441.
- [15] Kang Z Y, Tobias S, Chen Y Y, et al. Effects of interfacial contact under different operating conditions in proton exchange membrane water electrolysis[J]. Electrochimica Acta, 2022, 429: 140942.
- [16] Liu C, Carmo M, Bender G, et al. Performance enhancement of PEM electrolyzers through iridium-coated titanium porous transport layers[J]. Electrochemistry Communications, 2018, 97: 96-99.
- [17] Fan H Q, Shi D D, Wang X Z, et al. Enhancing through-plane electrical conductivity by introducing Au microdots onto TiN coated metal bipolar plates of PEMFCs[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2020, 45(53): 29442-29448.
- [18] Wang X Z, Muneshwar T P, Fan H Q, et al. Achieving ultrahigh corrosion resistance and conductive zirconium oxynitride coating on metal bipolar plates by plasma enhanced atomic layer deposition[J]. Journal of Power Sources, 2018, 397: 32-36.

[19] Liu C, Shviro M, Gago A S, et al. Exploring the interface of skin-layered titanium fibers for electrochemical water splitting[J]. Advanced Energy Materials, 2021, 11(8): 2002926.

[20] Deng T, Huang H H, Fan L, et al. Porous transport layers with TiC-coated microporous layers for proton exchange membrane water electrolysis[J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2023, 11(48): 17075-17085.

[21] Gao J P, Lv Y J, Li Y J, et al. Influence of N₂ flow rate on microstructure and corrosion resistance of TaN coatings on bipolar plates of PEM electrolyser[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2025, 54(5): 1127-1133.

[22] Kang Z Y, Mo J K, Yang G Q, et al. Thin film surface modifications of thin/tunable liquid/gas diffusion layers for high-efficiency proton exchange membrane electrolyzer cells[J]. Applied Energy, 2017, 206: 983-990.

[23] Zhao Y H, Lin G Q, Xiao J Q, et al. TiN/TiC multilayer films deposited by pulse biased arc ion plating[J]. Vacuum, 2010, 85(1): 1-4.

[24] Liu G Y, Shan D F, Fang B Z, et al. Novel hybrid coating of TiN and carbon with improved corrosion resistance for bipolar plates of PEM water electrolysis[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2023, 48(50): 18996-19007.

[25] Jiang N, Zhang H J, Bao S N, et al. XPS study for reactively sputtered titanium nitride thin films deposited under different substrate bias[J]. Physica B: Condensed Matter, 2004, 352(1-4): 118-126.

行业动态

日本大阪钛科技公司 2025 财年结算速报

日本大阪钛科技公司 2025 财年(2025 年 4 月 1 日至 2026 年 3 月 31 日)累计营业额为 469.52 亿日元,较 2024 财年的 519.14 亿日元下降 9.6%;营业利润为 55.24 亿日元,较 2024 财年的 100.88 亿日元下降 45.2%;净利润为 25.76 亿日元,较 2024 财年的 70.90 亿日元下降 63.7%。

钛事业部 2025 财年销售额为 404.44 亿日元,较 2024 财年的 452.36 亿日元下降 10.6%。其中,出口销售额同比略微增长 1.5%,但国内销售额下降 42.8%。

表 1 日本大阪钛科技公司各部门销售额统计(亿日元)

部门		2025 财年	2024 财年	增加额	增长率
钛事业部	国内	70.68	123.67	-52.99	-42.8%
	出口	333.75	328.68	5.07	1.5%
	合计	404.44	452.36	-47.92	-10.6%
高性能材料事业部		65.07	66.77	-1.70	-2.5%
合计		469.52	519.14	-49.62	-9.6%

表 2 日本大阪钛科技公司各部门营业利润统计(亿日元)

部门		2025 财年	2024 财年	增加额	增长率
钛事业部		46.54	89.61	-43.07	-48.1%
高性能材料事业部		8.70	11.27	-2.57	-22.8%
合计		55.24	100.88	-45.64	-45.2%

(何蕾编译自大阪钛科技公司官网)

日本东邦钛公司 2025 财年结算速报

日本东邦钛公司 2025 财年(2025 年 4 月 1 日至 2026 年 3 月 31 日)累计销售额为 833.89 亿日元,较 2024 财年的 889.74 亿日元下降 6.3%;营业利润为 44.00 亿日元,较 2024 财年的 66.48 亿日元下降 33.8%;净利润为 28.47 亿日元,较 2024 财年的 42.59 亿日元下降 33.1%。

钛金属事业部 2025 财年销售额出现下滑,为 544.29 亿日元,较 2024 财年的 655.68 亿日元下降 17.0%;营业利润为 43.82 亿日元,较 2024 财年的 72.07 亿日元下降 39.2%。

(何蕾编译自东邦钛公司官网)