二硫化钼/多孔氮化碳复合材料的制备及其结构表征

罗一飞[1,2]，宋泽璟[3]，刘 杰[1,2]，于亦飞[4]，刘广拓[5]，史凤梅[1,2]，王 粟[1,2]，李鹏飞[1,2]，宋锦东[6]，裴占江[1,2]

(1.黑龙江省黑土保护利用研究院，黑龙江 哈尔滨 150086；2.黑龙江省秸秆能源化重点实验室，黑龙江 哈尔滨 150086；3.中国石油大学(北京) 新能源与材料学院，北京 102249；4.黑龙江大学 建筑工程学院，黑龙江 哈尔滨 150080；5.东北农业大学 文理学院，黑龙江 哈尔滨 150030；6.黑龙江博能绿色能源科技集团股份有限公司，黑龙江 哈尔滨 150028)

摘 要：随着氢能产业的发展，对电化学制氢催化剂的研究愈发深入。二硫化钼(MoS_2)因其优异的电催化析氢反应(HER)活性和经济性而受到广泛关注，文章采用构建异质结的方法来提高其催化性能。采用 MoS_2 与不同质量的多孔氮化碳(pg-C_3N_4)相复合以改善 MoS_2 的电子结构，提高其催化 HER 的能力并探究最佳的 p-CN 复合质量。实验结果表明，复合 40 mg 的 pg-C_3N_4 后，复合材料具有最好的导电性，产氢 2 h 后，与 MoS_2 相比，复合材料可提高产氢量超过 10%。研究结果为低成本制氢催化剂的制备提供了新思路。

关键词：制氢催化剂；多孔氮化碳；二硫化钼；构建异质结；析氢反应

中图分类号：TK91 **文献标志码**：A **文章编号**：1671-5292(2026)01-0017-08

0 引言

人类对化石燃料的过度开采及使用导致了能源危机和全球变暖现象，各国更加关注绿色可持续性能源的发展[1]。作为燃料，氢气具有能量密度高和燃烧零碳排放的优点，氢气的利用对全球能源发展具有重要意义。作为制备氢气的有效手段，电解水制氢具有高效、氢气纯度高和无污染的优点，受到研究人员的高度关注。催化剂在电解水制氢中起重要作用，主要影响制氢过程中的析氢反应(Hydrogen Evolution Reaction，HER)活性与析氧反应(Oxygen Evolution Reaction，OER)活性[2]。传统贵金属催化剂(如铂基贵金属)具有良好的电催化 HER 活性[3]，但因其稀缺性和高成本，限制了其在工业领域的应用[4]，对制氢产业的发展也产生了一定影响。因此，亟须开发具有高稳定性和高活性的低成本催化剂解决上述问题。非贵金属催化剂，如氧化物[5]、硫化物[6]、磷化物[7]等均是可供选择的方案。

二硫化钼(MoS_2)具有可调控的带隙、独特的电子结构和优异的稳定性，在电催化析氢领域具有巨大应用潜力[8]。但是，MoS_2 内在导电率较低，大部分基底平面无活性位点，仅在其边缘位置存在活性位点。为优化 MoS_2 的电子结构以激活其基底平面，学者们采取了多种方法来改善MoS_2 的 HER 活性，如掺杂[9]、调整形态[10]、相工程[11]、创造空位[12]、构建异质结构[13]，优化表面、界面和边缘的电子结构和活性位点[14]。

与单组分相比，异质结构表现出更优异的电化学性能，这归因于界面处的协同效应，即不同组分的界面电子排列被优化[15]。合理设计和合成 MoS_2 基异质结构是一种很有前途的加速 HER 的方法。有研究表明，石墨氮化碳(g-C_3N_4)和 MoS_2 之间存在近乎完美的能带排列，这两种二维材料构成的异质结，有利于界面处的电荷分离，可有效提高 MoS_2 的氢气覆盖率，降低热力学反应势垒，加速 HER[16]。

本文通过实验制备了不同质量的多孔氮化碳(pg-C_3N_4)与 MoS_2 的异质结复合材料并研究了其催化 HER 的性能。通过多种表征方法分析了复合材料的结构与催化性能，验证了多孔氮化碳与

收稿日期：2024-07-22。

基金项目：黑龙江省揭榜挂帅项目(2022ZXJ05C02-03)；黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项项目(CX22JQ01)；黑龙江生猪现代农业产业技术协同创新推广体系项目。

通信作者：裴占江(1980-)，男，博士，研究员，研究方向为农业生物环境与能源工程。E-mail：neaupzj@163.com

MoS_2 异质结的构建改善了 MoS_2 的活性位点及导电率,并优化获得了一种具有较高 HER 活性的多孔氮化碳与 MoS_2 异质结催化剂,为低成本和高活性电解水制氢催化剂的制备提供了新思路。

1 材料与方法

1.1 实验试剂与仪器

试剂:三聚氰胺($C_3H_6N_6$)、质量分数为 37%的盐酸(HCl)、质量分数为 98%的硫酸(H_2SO_4)、钼酸钠、硫代乙酰胺(TAA)、乙醇、Nafion,所用试剂均为分析纯。

实验设备:DZF-6020 真空干燥箱、KSL-1100X-L 箱式电炉、KH-100mL 型特氟龙水热合成反应釜、CHI760E 型电化学工作站。

在电化学分析中,使用三电极体系,对电极为铂电极,参比电极为 Ag/AgCl 电极,使用浓度为 0.35 mol/L 的 Na_2SO_4 溶液作为电解液,使用氙灯作为光源。

1.2 实验方法

1.2.1 制备 g-C_3N_4 和 pg-C_3N_4

将 15 g 的三聚氰胺加入到 150 mL 温度为 80 ℃的蒸馏水中,待冷却至室温后,缓慢加入 15 mL 质量分数为 37%的盐酸并搅拌 30 min,随后将混合溶液放入 80 ℃的烘箱中干燥,干燥后的样品为三聚氰胺盐酸盐。将 10 g 三聚氰胺盐酸盐置于带盖的坩埚中,放入箱式电炉,以 5 ℃/min 的升温速率加热至 550 ℃,保温 3 h,得到的样品为 pg-C_3N_4。将 10 g 三聚氰胺置于带盖的坩埚中,在箱式电炉中以同样条件进行煅烧,得到的样品为 g-C_3N_4。

1.2.2 复合催化剂的制备

将不同质量(20,40,60 mg)的 g-C_3N_4 和 pg-C_3N_4 分别与 3 mmol (617.7 mg) 钼酸钠和 3 mmol (225.4 mg) 硫代乙酰胺放入 60 mL 去离子水中,搅拌 40 min 后导入特氟龙反应釜中,在 180 ℃下加热 24 h,待冷却至室温后,将固体样品放入真空烘箱中以 60 ℃烘 6 h,分别得到催化剂MoS_2/g-C_3N_4-20,MoS_2/g-C_3N_4-40,MoS_2/g-C_3N_4-60 以及 MoS_2/pg-C_3N_4-20,MoS_2/pg-C_3N_4-40,MoS_2/pg-C_3N_4-60,将干燥的催化剂用水和乙醇交替洗涤 3 次。

1.2.3 表征方法

利用 Thermo Scientific ESCALAB 250Xi 型 X 射线光电子能谱仪(XPS)对样品的元素组成和化学状态进行分析(激发源为 Al Kα 射线,工作电压为 12 kV,灯丝电流为 6 mA),对 XPS 数据进行校准时,运用 Avantage 软件对谱峰进行分峰拟合。

利用 Bruker D8 Venture 型扫描电子显微镜(XRD)观察样品的微观形貌。XRD 具体参数如下:以 Cu 靶 Kα 为辐射源,波长为 0.154 06 nm,管电压为 40 kV,管电流为 40 mA,扫描速率为 2 (°)/min,扫描 2θ=10°~80°。

利用 Thermo Fisher Scientific Nicolet iS20 型红外光谱仪(FT-IR)研究样品的成分信息,扫描波段为 400~4 000 cm^{-1},通过 Ominic 8.0 软件处理数据。

1.2.4 电化学分析

对样品进行莫特-肖特基曲线测试和电化学阻抗谱(EIS)测定。

莫特-肖特基曲线测试是在一个线性电位扫描过程中对材料叠加一个固定频率的交流阻抗进行测试,研究复合材料表面的半导体特征时,叠加的固定频率一般为 1~20 kHz。

电化学阻抗谱测定均在浓度为 0.5 mol/L 的 H_2SO_4 溶液中进行,初始电位为开路电位,高频为 10^5 Hz,低频为 0.01 Hz。

1.2.5 产氢测试

反应器:耐高温、酸碱的玻璃容器(高 75 mm,内径为 50 mm,外径为 55 mm),反应器盖子为聚四氟乙烯材料,设有 3 个直径为 6 mm 的圆孔(放置电极夹)以及 2 个直径为 3 mm 的圆孔(收集气体)。

电极制备:将 5 mg 催化剂(处理组和对照组分别采用 MoS_2/pg-C_3N_4-40 和 MoS_2 作为电解水催化剂)与 20 μL 的 Nafion 溶液混合于 250 μL 的去离子水和 250 μL 的乙醇中,经过 30 min 的超声分散后,滴在 1 cm×2 cm 的导电玻璃上,并在 60 ℃条件下真空干燥 24 h。

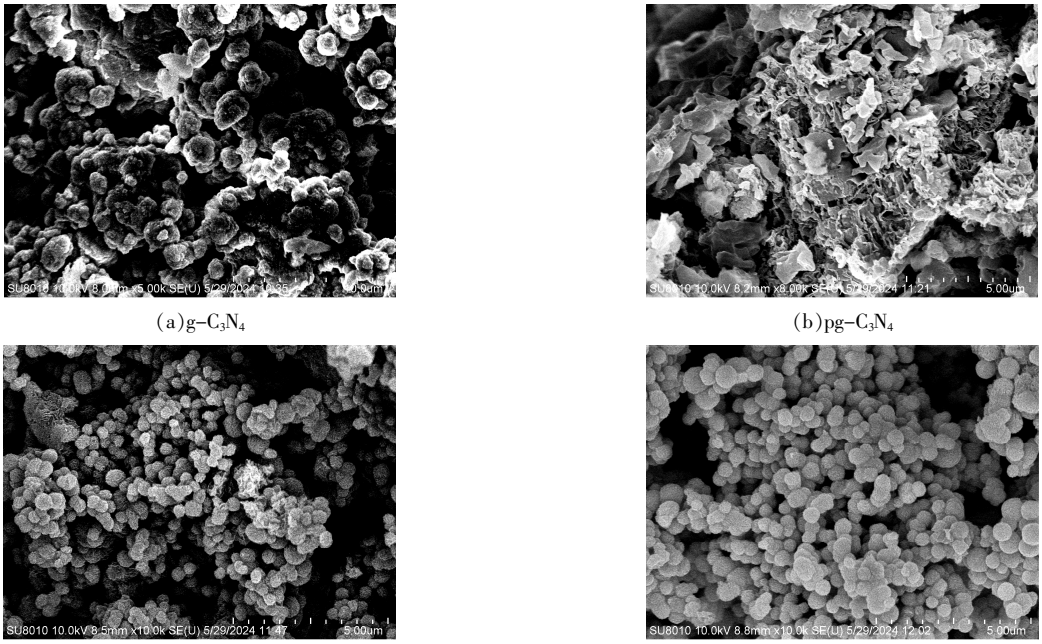
实验方法:在反应器中加入 50 mL 水热法制多孔炭所产生的上层清液,采用恒定电流(0.4 A)电解,用集气袋收集反应气体。

2 结果与讨论

2.1 二硫化钼和多孔氮化碳复合材料的物化特性

2.1.1 复合材料的微观形貌

各材料的微观形貌如图 1 所示。



(a)$g-C_3N_4$　(b)$pg-C_3N_4$

(c)$MoS_2/pg-C_3N_4-40$　(d)$MoS_2/g-C_3N_4-40$

图 1　各材料的 SEM 图

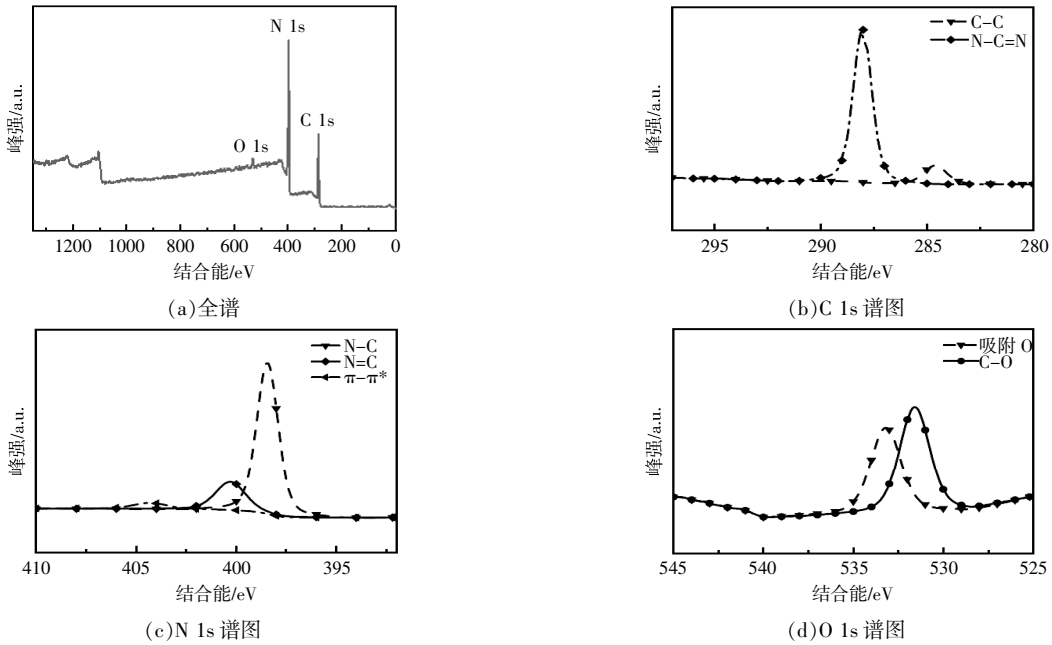
Fig.1 SEM images of various materials

从图 1 可以看出:$g-C_3N_4$ 呈现不规则的块状,整体比较致密,无孔道结构,明显不具有比表面积较大和吸附电子的优势;与 $g-C_3N_4$ 相比,$pg-C_3N_4$ 具有更加细密的结构,这使其电导率高、带隙窄、载流子复合慢、表面活性位点多[17],更有利于对 MoS_2 的沉积。MoS_2 与氮化碳复合后,显著改变了最终的形貌特征,具有了明显的孔道结构,提供了更多的活性位点,与 $MoS_2/g-C_3N_4-40$ 相比,$MoS_2/pg-C_3N_4-40$ 具有更密集的孔道结构,从而形成更加稳定的异质结结构,具有比表面积和氢气覆盖率优势,有利于电荷的分离。

2.1.2　各材料的 XPS 谱图

图 2 为 $g-C_3N_4$ 的 XPS 谱图。

从 $g-C_3N_4$ 全谱中可以观察到 C,N 元素以及



(a)全谱　(b)C 1s 谱图

(c)N 1s 谱图　(d)O 1s 谱图

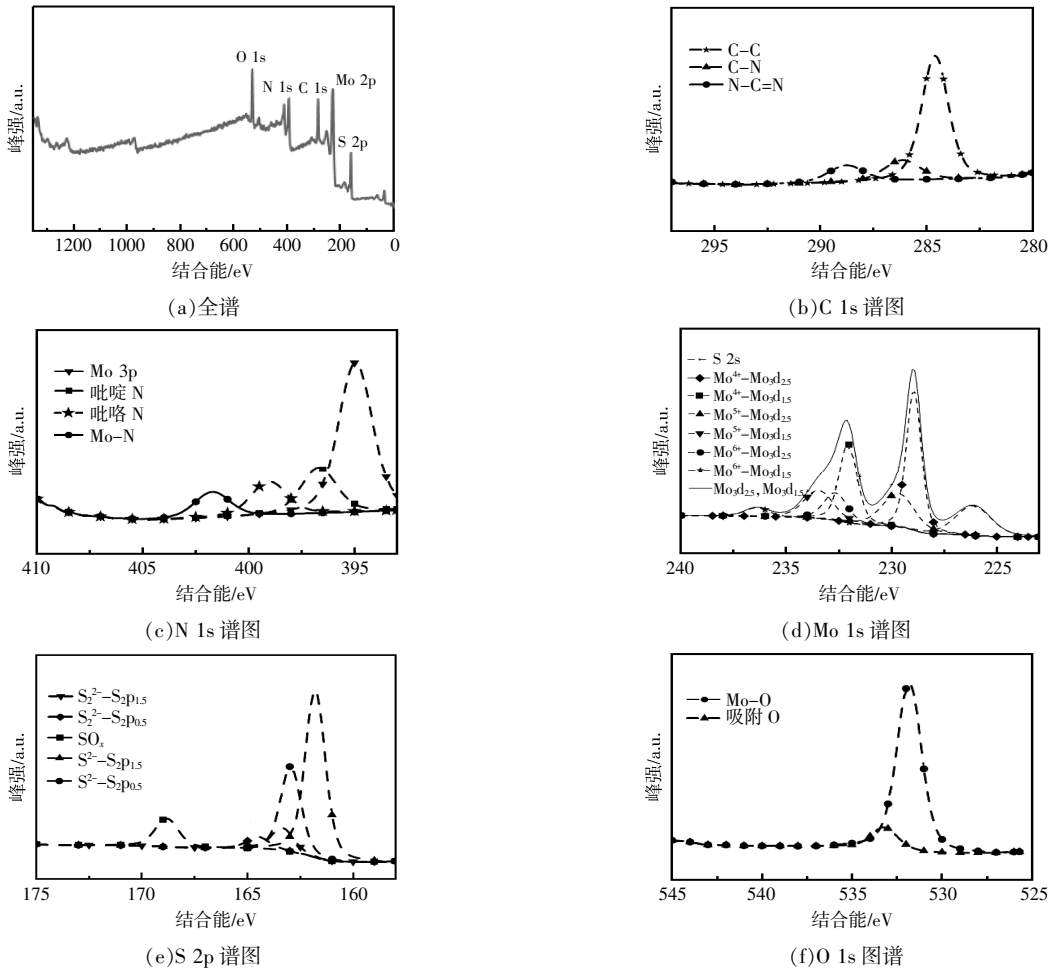
图 2　$g-C_3N_4$ 的 XPS 谱图

Fig.2 XPS spectra of $g-C_3N_4$

少量的 O 元素。在 g-C_3N_4 的 C 1s 谱图中，位于 284.6,288.0 eV 处的两个特征峰分别归属于 C-C (sp_2)和 N-C=N (sp_2),符合 g-C_3N_4 的结构特征[18]。在 N 1s 谱图中,位于 388.4,400.3 eV 处的两个特征峰分别归属于 N-C 和 N=C,同时观察到了位于 404.3 eV 处的 π-π* 堆积。在 O 1s 谱图观察到了微量的 O 元素,通常来源于吸附杂质,如 CO_2 或 H_2O。

图 3 为 MoS_2/pg-C_3N_4-40 的 XPS 谱图。

从MoS_2/pg-C_3N_4-40 全谱图中可以观察到 C，N，O，S,Mo 元素。在 C 1s 谱图中，位于284.6,286.15,288.78 eV 处的 3 个特征峰分别归属于C-C (sp_2),C-N 和 N-C=N (sp_2)。在 N 1s谱图中,位于394.95 eV 处的特征峰为 Mo 3p 的干扰峰,位于396.69,399.04,401.72eV 处的 3 个特征峰分别归属于吡啶 N、吡咯 N 和 Mo-N。在 Mo 1s谱图中,同



(a)全谱 (b)C 1s 谱图 (c)N 1s 谱图 (d)Mo 1s 谱图 (e)S 2p 谱图 (f)O 1s 图谱

图 3 MoS_2/pg-C_3N_4-40 的 XPS 谱图

Fig.3 XPS spectra of MoS_2/pg-C_3N_4-40

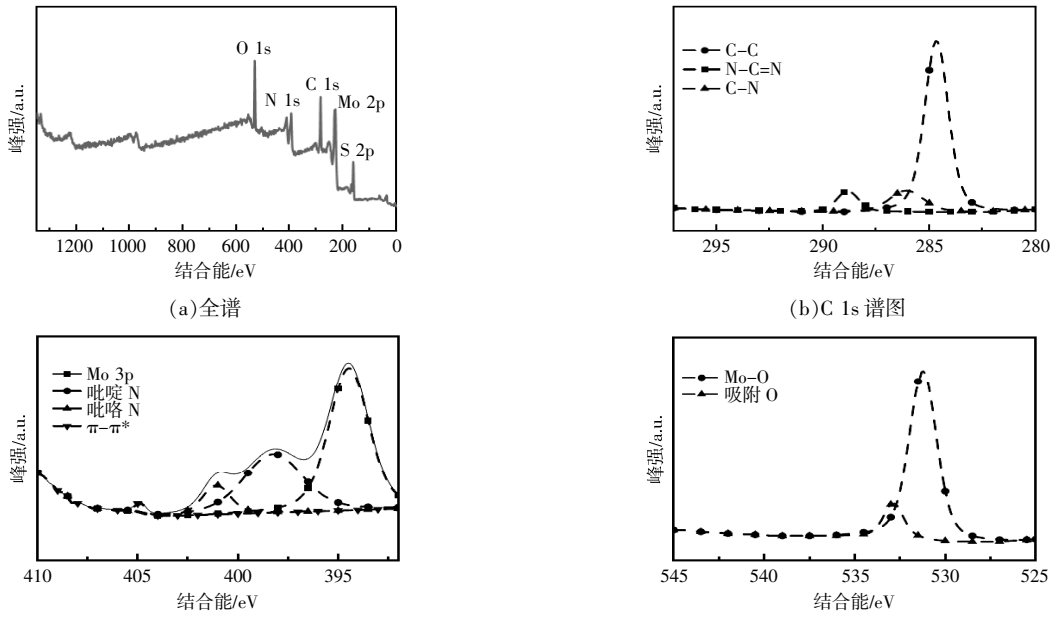
时存在 Mo^{4+},Mo^{5+}和 Mo^{6+},位于 226.1 eV 处的特征峰为 S 2s 的干扰峰，位于228.93,232.05 eV 处的特征峰分别归属于 Mo^{4+}的$Mo_3d_{2.5}$ 和 $Mo_3d_{1.5}$ 裂分峰，位于 229.67,233.46 eV处的特征峰分别归属于 Mo^{5+}的 $Mo_3d_{2.5}$ 和 $Mo_3d_{1.5}$ 裂分峰,位于232.66,236.38 eV 处的特征峰分别归属于 Mo^{6+}的$Mo_3d_{2.5}$和$Mo_3d_{1.5}$ 裂分峰。在 S 2p 谱图中,位于161.79,162.96 eV 处的特征峰分别归属于 S^{2-}的 $S_2p_{1.5}$ 和 $S_2p_{0.5}$ 裂分峰,位于 163.34,164.5 eV 处的特征峰分别归属于 S_2^{2-}的 $S_2p_{1.5}$ 和 $S_2p_{0.5}$ 裂分峰,位于168.82,170.08 eV 处的特征峰分别归属于 SO_x 的 $S_2p_{1.5}$ 和 $S_2p_{0.5}$ 裂分峰,这进一步证实了 MoS_2 的存在。以上数据进一步证实了 MoS_2 的存在,也说明利用水热法可以成功制备 MoS_2/pg-C_3N_4 复合材料。验证 MoS_2/pg-C_3N_4-20 与 MoS_2/pg-C_3N_4-60 是否复合成功的方法与 MoS_2/pg-C_3N_4-40 相同，均通过在对应 XPS 谱图中寻找相应特征峰来判断。在 O 1s 谱图中，位于 531.6,533.4 eV 处的特征峰分别归

属于Mo–O 和吸附 O,Mo–O 可能是由于 Mo 元素在反应过程中结合了含氧官能团或被氧化所致,而吸附 O 可能来源于被吸附的水分子。

图 4 为 MoS_2/g–C_3N_4–40 的 XPS 谱图。

在 MoS_2/g–C_3N_4–40 全谱图中可以观察到 C,N,O,S,Mo 元素。在 C 1s 谱图中,位于284.66,286.07,288.84 eV 处的 3 个特征峰分别归属于 C–C(sp_2),C–N 以及 N–C=N(sp_2)。在 N 1s 谱图中,位于 394.46 eV 处的特征峰为 Mo3p 的干扰峰,位于 398.23,401.08 eV 处的特征峰分别归属于吡啶 N 和吡咯 N,也观察到了 π–π* 震激峰。在 O 1s 谱图中,位于 531.23,532.86 eV 处的特征峰分别归属于 Mo–O 和吸附 O。

XPS 谱图的分析结果表明,MoS_2 与 g–C_3N_4 实现了成功复合,然而,与 g–C_3N_4 相比,在复合材料的 C 1s,N 1s 谱图中没有观察到特别明显的 g–C_3N_4 的峰,可能是因为复合材料中 MoS_2 占比较大,而 g–C_3N_4 的含量较低。



(a)全谱　(b)C 1s 谱图

(c)N 1s 谱图　(d)O 1s 谱图

图 4　MoS_2/g–C_3N_4–40 的 XPS 谱图

Fig.4 XPS spectra of MoS_2/g–C_3N_4–40

2.1.3　各材料的 XRD 谱图和 FT–IR 光谱图

图 5 为各材料的 XRD 谱图。

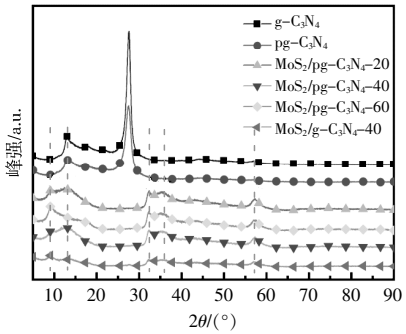


图 5　XRD 谱图

Fig.5 XRD spectrum

从图 5 可以看出:在 g–C_3N_4 和 pg–C_3N_4 的 XRD 谱图中,2θ=13.1°,27.4°处可以观察到两个明显的衍射峰,分别归属于 g–C_3N_4 的(002)和(100)晶面;在复合材料的 XRD 谱图中,2θ=32.9°,58.1°处的衍射峰分别归属于 MoS_2 的(100)和(110)晶面;此外,2θ=9.2°,13.2°处的衍射峰表明 MoS_2 存在着两种晶型(1T–MoS_2 和 2H–MoS_2),但谱图中未观察到明显的 g–C_3N_4 信号峰,可能是因为 XRD 无法检测到具有较薄层状结构的 g–C_3N_4,因为它嵌入到了 MoS_2 的夹层中,或是其含量较低而未被识别。

图 6 为各材料的 FT–IR 光谱图。

从图 6 可以看出:在 g–C_3N_4 和 pg–C_3N_4 的 FT–IR 光谱图中,3 150 cm^{-1} 处的吸收峰为 N–H 伸缩振动,807 cm^{-1} 处的峰为三嗪环的特征振动,1 650~1 150 cm^{-1} 处的数个峰为 g–C_3N_4 中芳香杂环 CN 的特征伸缩振动谱带;在复合材料的 FT–IR 光谱图中,1 650~1 150 cm^{-1} 处的峰发生了明显变化,可能是因为各组分之间的电子相互作用,同

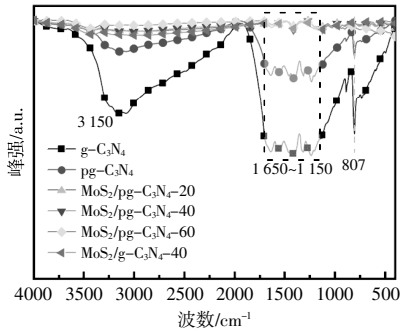


图 6 FT-IR 光谱

Fig.6 FT-IR spectrum

时复合材料中未观察到明显的 g-C_3N_4 的特征振动吸收峰,可能是其含量较低;不同氮化碳负载量的复合材料的红外谱图差异不大。

2.2 电化学分析

图 7 为各材料的 EIS 谱图。

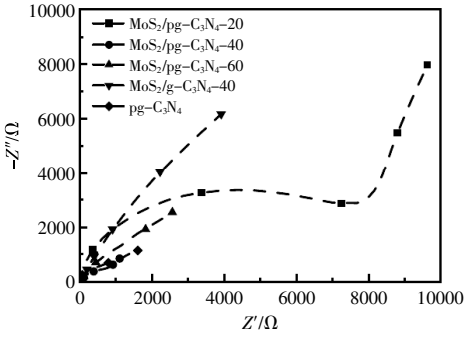


图 7 EIS 谱图

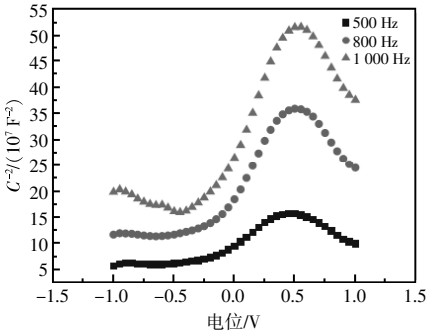
Fig.7 EIS spectrum

从图 7 可以看出,所有复合材料的 EIS 曲线均呈现出与电荷转移电阻(Rct)相关联的圆弧线,其中 MoS_2/pg-C_3N_4-40 表现出最低的 EIS 半径,即最低的 Rct,这说明MoS_2/pg-C_3N_4-40 具有最快的电荷转移动力学和最小的电阻率,其导电性为复合不同质量 pg-C_3N_4 的复合材料中最好的,具有最优秀的 HER 性能的催化剂。

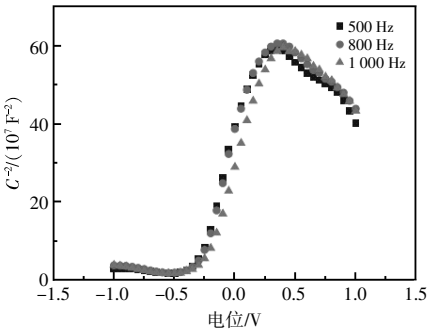
许多金属或合金表面生成的钝化物膜具有半导体性质,可以根据莫特-肖特基曲线斜率的正负判断材料表面钝化膜的半导体类型。图 8 为各复合材料的莫特-肖特基曲线。

从图 8 可以看出,几种材料具有相似的半导体特征,在 0~0.5 V,曲线斜率为正,表明材料具有 n 型半导体的特征,而在 0.5~1.0 V,曲线斜率为负,表明材料具有 p 型半导体的特征。以上结果说明,各材料兼具 p 型和 n 型半导体特征,具有良好的电子转移能力。

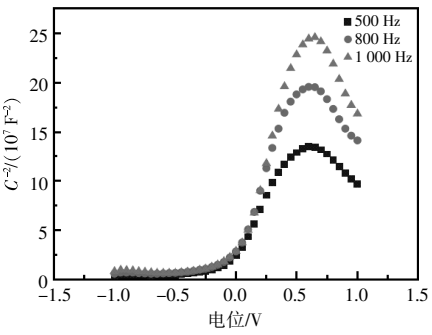
Ugraskan V 发现,添加过量比例的 g-C_3N_4,会降低复合材料的电导率,可能是因为过多的 g-C_3N_4 会发生堆积,破坏了材料的连续导电网格[19]。本文推测:MoS_2/pg-C_3N_4-60 由于 pg-C_3N_4 的过量负载而发生了堆积,占据了活性位点,降低了材料



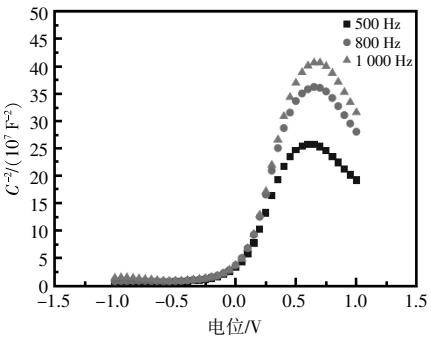
(a)pg-C_3N_4



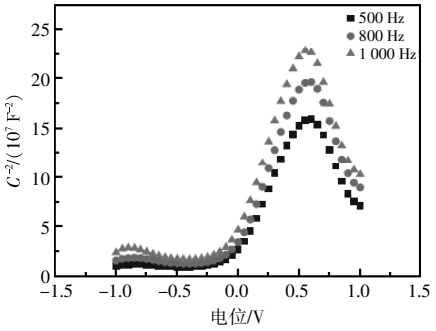
(b)MoS_2/pg-C_3N_4-20



(c)MoS_2/pg-C_3N_4-40



(d)MoS_2/pg-C_3N_4-60



(e)MoS_2/g-C_3N_4-40

图 8　莫特-肖特基曲线

Fig.8 Curves of Mott Schottky

的电导率;MoS_2/pg-C_3N_4-20 由于 pg-C_3N_4 负载量低,影响了材料的孔道结构和吸附位点,最终降低了材料的导电性能。

2.3　产氢效果

处理组与对照组的产氢量如图 9 所示。

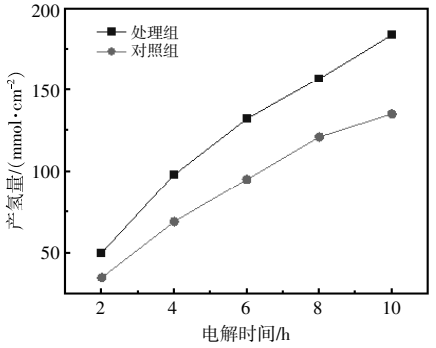


图 9　氢气产量

Fig.9 Hydrogen production

从图 9 可以看出，处理组的产氢量明显高于对照组,仅在 2 h 后,处理组的产氢量就比对照组高 10%以上。这是因为 pg-C_3N_4 的引入增加了 MoS_2 的活性位点及氢气覆盖率,优化了其电子结构,提高了电荷分离和转移能力,从而提高了其催化 HER 的性能,增加了产氢量。

3　结论

本文制备了不同的氮化碳（pg-C_3N_4 和 g-C_3N_4)与 MoS_2 的异质结复合材料,通过多种表征方法分析了复合材料的结构，通过产氢实验验证了复合材料的催化性能,得出如下结论。

①与 MoS_2/g-C_3N_4 相比,MoS_2/pg-C_3N_4 具有更多的孔道结构,能够提供更多的活性位点。

②MoS_2 与多孔氮化碳构建异质结增强了复合材料 HER 性能,复合 40 mg 多孔氮化碳的复合材料(MoS_2/pg-C_3N_4-40)表现出了半导体特性和最小的电阻率,具有最佳的导电性与电化学性能。

③产氢 2 h 后，与 MoS_2 相比,MoS_2/pg-C_3N_4-40 可将产氢量提高 10%以上。

参考文献:

[1] 张振扬,解辉.液氢的制、储、运技术现状及分析[J].可再生能源,2023,41(3):298-305.

[2] 郭丹丹,滕越,迟军,等.碱性水电解非贵金属析氧催化剂的研究进展[J].可再生能源,2022,40(1):21-26.

[3] Chalgin A,Song C,Tao P,et al. Effect of supporting materials on the electrocatalytic activity, stability and selectivity of noble metal-based catalysts for oxygen reduction and hydrogen evolution reactions[J].Progress in Natural Science:Materials International,2020,30(3):289-297.

[4] Zhai S, Feng Y, Yuan Z Y. Engineering one-dimensional transition metal compound nanostructures for electrocatalytic hydrogen evolution:Overview and perspectives [J].International Journal of Hydrogen Energy,2023,48(89):34677-34699.

[5] Holme T P,Prinz F B. Nonprecious metal catalysts for low temperature solid oxide fuel cells [J].The Journal of Physical Chemistry C,2011,115(23):11641-11648.

[6] He W,Wang F,Gao Y,et al. One-step synthesis of amorphous transition metal sulfides as bifunctional electrocatalysts for the hydrogen evolution reaction and oxygen evolution reaction [J]. Sustainable Energy & Fuels,2022,6(16):3852-3857.

[7] Jing C,Hong L,Li B,et al. A review with transition-metal phosphide electrocatalysts in hydrogen evolution reaction:Doping perspective [J].Molecular Catalysis,2024,554:113832.

[8] Lin T,Xu R,Hu Y,et al. The electrocatalytic HER activity of MoS_2 decorated with adjustable-size ruthenium nanoparticles [J].International Journal of Hydrogen Energy,2024,68:688-695.

[9] 胡陈艳,陈联国.铜、钴、铁掺杂对二硫化钼电催化析氢性能的影响[J].河南师范大学学报(自然科学版),2024,5:67-73.

[10] Gaur A P S,Zhang B,Lui Y H,et al. Morphologically tailored nano-structured MoS_2 catalysts via introduction of Ni and Co ions for enhanced HER activity[J].Applied Surface Science,2020,516:146094.

[11] Allard C. Phase engineering of MoS_2 heterostructures[J]. Nature Reviews Materials,2023,8(12):781-781.

[12] Xu W,Kim W K. Effects of sulfur vacancies on friction

of two-dimensional MoS_2 [J].Computational Materials Science,2024,231:112559.

[13] Anvari R,Wang W. Nature of point defects in monolayer MoS_2 and the MoS_2/Au (111) heterojunction [J].Journal of Applied Physics,2024,135(17):174304-174315.

[14] Tang X,Zhang Y,Zhang Y,et al. Three-dimensional Co-MoS_2/Ni_3S_2/Ni assembly with interfacial engineering and electronic modulation for efficient hydrogen evolution reaction [J].International Journal of Hydrogen Energy,2024,67:42-49.

[15] Adhikari S,Mandal S,Kim D H. Construction of 3D Ni_3Se_2@NiCo-LDH heterostructured system for efficient electrocatalytic oxygen evolution reaction [J].Catalysis Today,2023,423:114282.

[16] Jia Y,Zhang Y,Xu H,et al. Recent advances in doping strategies to improve electrocatalytic hydrogen evolution performance of molybdenum disulfide[J].ACS Catalysis,2024,14(7):4601-4637.

[17] Zhou H,Shen Y,Huang J,et al. Preparation of mesoporous carbon nitride structure by the dealloying of Ni/a-CN nanocomposite films [J].Applied Surface Science,2018,440:448-457.

[18] Sun S P,Gu S,Sun J H,et al. First principles investigation of the electronic properties of graphitic carbon nitride with different building block and sheet staggered arrangement [J].Journal of Alloys and Compounds,2018,735:131-139.

[19] Ugraskan V,Karaman F. Enhanced thermoelectric properties of highly conductive poly(3,4-ethylenedioxy thiophene)/exfoliated graphitic carbon nitride composites [J].Synthetic Metals,2022,287:117070.

Preparation and structural characterization of molybdenum disulfide/porous carbon nitride composites

Luo Yifei[1,2], Song Zejing[3], Liu Jie[1,2], Yu Yifei[4], Liu Guangtuo[5], Shi Fengmei[1,2], Wang Su[1,2], Li Pengfei[1,2], Song Jindong[6], Pei Zhanjiang[1,2]

(1.Heilongjiang Academy of Black Soil Conservation and Utilization, Harbin 150086, China; 2.Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Straw Energyization, Harbin 150086, China; 3.College of New Energy and Materials, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 4.College of Architecture and Engineering, Heilongjiang University, Harbin 150080, China; 5.College of Arts and Sciences, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 6.Heilongjiang Bonang Green Energy Technology Group Co. Ltd., Harbin 150028, China)

Abstract: With the burgeoning development of the hydrogen energy industry, research endeavors focused on electrochemical hydrogen evolution catalysts have intensified significantly. Molybdenum disulfide (MoS_2) has garnered substantial attention owing to its remarkable electrocatalytic activity toward the hydrogen evolution reaction (HER) and inherent cost-effectiveness. In this study, a heterojunction engineering strategy was adopted to further optimize its catalytic performance. Specifically, MoS_2 was hybridized with varying quantities of porous graphitic carbon nitride (pg-C_3N_4) to modulate the electronic structure of MoS_2, thereby enhancing its HER kinetics and determining the optimal loading mass of pg-C_3N_4. Experimental results reveal that the composite incorporating 40 mg of pg-C_3N_4 exhibits superior electrical conductivity. Furthermore, chronopotentiometry tests conducted over 2 hours duration demonstrated that the hydrogen yield of the composite exceeded that of pristine MoS_2 by more than 10%. Collectively, these findings offer novel insights into the rational design of low-cost electrocatalysts for hydrogen production.

Keywords: hydrogen production catalyst; porous carbon nitride; molybdenum disulfide; building heterojunctions; hydrogen evolution reaction