

# 江苏省高等学校大学生创新创业训练计划项目 (创新类项目) 结题申请书

<b>学 校</b>	南京晓庄学院			<b>项目编号</b>	202011460077H
<b>项目名称</b>	金属 Ru/Rh 修饰钴基磷化物纳米晶的合成和全解水性能的测定				
<b>项目类型</b>	<input type="checkbox"/> 重点项目 <input type="checkbox"/> 重点自筹项目 <input type="checkbox"/> 一般项目 <input type="checkbox"/> 指导项目 <input checked="" type="checkbox"/> 校企合作项目				
<b>研究期限</b>	项目起始时间： 2020 年 5 月			计划完成时间：2022 年 5 月	
				实际完成时间：2021 年 9 月	
<b>项目 负责人 及 成员</b>	<b>姓名</b>	<b>年级</b>	<b>学号</b>	<b>联系电话</b>	<b>项目分工</b>
	崔雨佳	18 级	18050618	18238906342	主持人, 无机合成, 性能测试
	顾祥耀	16 级	16050904	18912391626	主持人, 无机合成
	曹佳	18 级	18050716	15195867526	性能测试
<b>指 导 教 师</b>	<b>姓名</b>	<b>专业技术职务</b>		<b>承担的工作</b>	
	刘苏莉	教授		项目指导, 论文撰写, 专利发表	
<p><b>一、项目实施情况</b> (请就研究目标、研究过程、研究成果、研究心得作全面总结, 3000 字以内):</p> <p><b>研究目标:</b></p> <p>电化学分解水反应是一种非常重要的反应, 因为其产物 <math>H_2</math> 和 <math>O_2</math> 与人类的生产生活密切相关。阴极上析氢反应 (HER) 产生的 <math>H_2</math> 是最清洁的能量, 阳极上析氧反应 (OER) 的产物 <math>O_2</math> 是地球上生物呼吸的重要原料。但由于反应能垒高, 特别是在工业生产中电流密度大的情况下, 需要使用催化剂来降低所需能量, 提高能量转换效率。Pt 基和 Ir/Ru 氧化物基催化剂是目前催化 HER 和 OER 的商用材料。但其成本高、稳定性差, 限制了其大规模应用。因此, 构建高效稳定的电化学催化剂对可再生能源技术具有重要意义。基于此, 本项目的研究目标如下:</p> <p>1) 采用一锅法制备过渡金属 Co 掺入 RuRh 双金属形成复合催化剂, 通过改变金属比例, 调</p>					

控制备在碱性条件下具有最佳电催化析氢、析氧和全解水性能的 Co-RuRh 复合催化剂。。

- 2) 在确定的最佳实验条件下，尝试制备不同过渡金属（Fe，Cr，Mn）掺杂 RuRh 合金，进一步比较不同复合材料作为析氢、析氧反应催化剂的催化性能，探究过渡金属的引入对于 RuRh 催化剂的性能影响
- 3) 通过 X 射线衍射（XRD）、扫描电镜（TEM）、X 射线光电子能谱（XPS）等手段对制备的材料进行结构与形貌的表征了解其围观特性，并探讨不同过渡金属的掺杂对其微观结构和形貌的影响。

#### 研究过程：

- 1) 项目初期采用溶剂热法将三氯化钌水合物，三氯化铑水合物，氯化钴水合物，正十六烷基胺，去离子水，乙二醇，苯甲酸，按照一定的量混合均匀，之后放入规格为 50 mL 高压反应釜中按照一定的反应条件进行反应，以析氢测试为探针，与商业铂碳的析氢性能比较，探究最佳投入物料的比例。
- 2) 项目初期主要探究掺杂钴的量和重复实验，经过电化学测试，发现性质达到了预期效果。因此，经过组内与指导老师和成员研讨，决定用相同的无机合成方法掺杂其他的过渡金属，并进行电化学测试，结果显示不同的过渡金属的微量掺杂，可以显著影响各种电化学测试结果。
- 3) 在不断探讨的基础上，继续探究过渡金属掺杂 RuRh 电催化剂在水分解反应的其余半反应氢氧化（HOR）、和全解水（OWR）上的催化性能。

#### 实验部分：

##### 1. Co-RuRh 纳米晶的制备

采用溶剂热法，以去离子水、乙二醇为混合溶剂，依次加入三氯化钌水合物、氯化铑水合物、氯化钴水合物、正十六烷基胺、苯甲酸到高压反应釜中，程序升温至 150 °C 保温 12 h 使其充分反应，冷却至室温，洗样，真空干燥箱干燥得纳米晶。

##### 2. 实验条件探索

###### (1) 探索 Co 的含量对 Co-RuRh 纳米颗粒性质的影响

改变 Co 盐的掺入量，对比实验分别加入 0.08 mmol、0.16 mmol、0.32 mmol 的 Co 盐，计算得 Co: Ru: Rh 的比例分别为 0.5: 1: 2、1: 2: 1、2: 2: 1，然后对其进行性质测试并比较。

###### (2) 探究其他过渡金属种类对 M-RuRh 纳米颗粒性质的影响

按照上述最佳比例的量，分别加入 Fe 源、Cr 源、Mn 源，改变过渡金属的种类，并对其进行性质测试，对比不同过渡金属的掺杂对其样品性质的影响。

### 3. M-RuRh (M=Co、Fe、Cr、Mn) 纳米晶的电化学测试

M-RuRh (M=Co、Fe、Cr、Mn) 最终以粉末形式呈现, 电化学性能测试使用 CHI 760E 电化学工作站上进行, 采用标准的三电极测试体系, 相应的工作电极为本实施例所获取的样品修饰的直径为 3 mm 玻碳电极 (GCE), 对电极为铂片, 以 Ag/AgCl (3 M KCl) 参比电极。本实施例所有的电势均相对于 RHE。所有电化学测试均在 25 °C 条件下进行。每次实验时, 所有的修饰电极均在 N<sub>2</sub> 饱和的 0.1 mol/L KOH 溶液中进行测试。电化学实验前, 取 10 μL 的催化剂分散溶液 (5 mg/mL) 滴在玻碳电极上, 烘干, 再滴加 5 μL 1% 的萘酚溶液覆盖在催化剂表面, 烘干备用。



图 1. 纳米晶合成及电化学性能测试示意图

### 实验结果与讨论:

#### 1. Co-RuRh 催化剂的实验条件探索

实验初期采用相同的溶剂热法, 通过控制变量, 只改变投入 Co 盐的量, 使 Ru: Rh: Co 的摩尔比分别为 1: 2: 0.5, 1: 2: 1 和 1: 2: 2, 实验中我们通过商业催化剂对催化性能进行评估, 已知曲线越靠近商业催化代表活性越高, 结果如图 2 所示, 不论是对于析氢和析氧反应, Co-RuRh 都表现出了优秀的催化活性, 尤其是对于析氢来说, 1: 2: 1 的比例甚至超过了商业 Pt 催化剂。因此, 以下关于其他金属的拓展实验, 维持 Ru: Rh: M=1: 2: 1 不变。

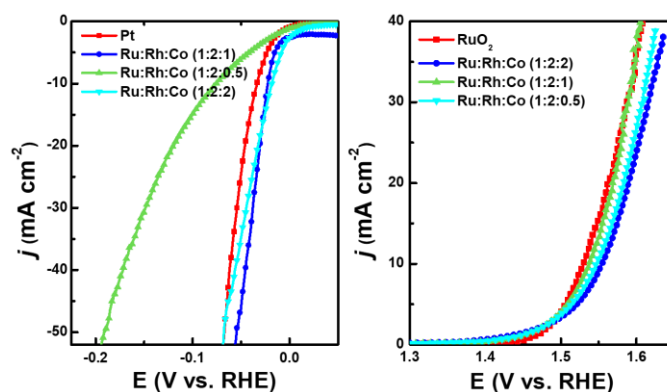


图 2. Co-RuRh 不同 Co 掺入量的电化学性能比较

## 2. M-RuRh (M=Co、Fe、Cr、Mn) 催化剂的电化学性能测试及结构表征

### (1) 析氢反应测试 (HER)

析氢反应测试在  $N_2$  饱和的 1.0 M KOH 电解液中进行, 通过电化学工作站的线性伏安扫描 (LSV) 曲线得到不同电压下, 不同催化剂材料对产生电流的响应信号。通过计算, 我们可以通过相同电流密度下的过电位、塔菲尔斜率来评价催化剂的性能优劣。

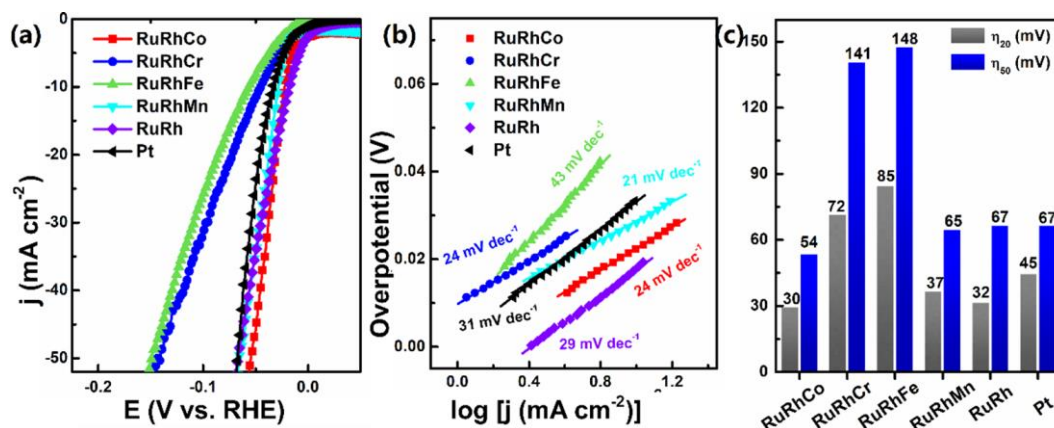


图 3. M-RuRh、RuRh 和商业 Pt 析氢测试性能比较

在 0.1 M KOH 溶液中进行析氢性能测试, 如图 3 所示, 电流密度为 20 和 50  $\text{mA cm}^{-2}$  下 Co-RuRh 的过电位分别为 30 和 54 mV, Tafel 斜率低至 24  $\text{mV dec}^{-1}$ , 远低于 Cr-RuRh (72 和 141 mV)、Fe-RuRh (85 和 148 mV)、Mn-RuRh (37 和 65 mV)、RuRh (32 和 67 mV) 和市售 Pt (45 和 67 mV)。由此看出, Co-RuRh 纳米晶的过电位最低, 析出氢气的电位与商业催化剂 Pt/C 的电位更为接近, 因此合成的 Co-RuRh 纳米晶的析氢催化性能最优。

如图 4 所示, 为了探究催化剂的本征活性, 我们同时对催化剂的双电层电容和阻抗进行测试。催化剂的双电层电容与活性面积成正比, 即双电层电容越大, 活性面积越大, 由图可知, 活性面积的大小排序为: Co-RuRh ( $101.1 \text{ mF cm}^{-2}$ ) > Mn-RuRh ( $87.2 \text{ mF cm}^{-2}$ ) > Cr-RuRh ( $6.1 \text{ mF cm}^{-2}$ ) > Fe-RuRh ( $4.2 \text{ mF cm}^{-2}$ )。这意味着在保持同样的负载量、相同的接触面积的测试前提下, Co-RuRh 具有最大的产生电流响应的电化学活性面积, 这也是 Co-RuRh 的过电位最低的原因之一。此外, 阻抗值是反应动力学重要的评价标准, 阻抗值越小, 反应越快。Co-RuRh 显示最小的阻抗值为 5.52  $\Omega$  (其他过渡金属的阻抗值见图 5), 与 LSV 的测试结果一致, 与塔菲尔斜率的计算结果也一致, 代表 Co-RuRh 在这类过渡金属掺杂的体系中拥有最快的反应动力学。除此之外, 稳定性对催化剂性能的评估至关重要, 这里我们采用长时间保持一定的电压, 使催化剂从电流密度为 10  $\text{mA cm}^{-2}$  处开始稳定测试, 结果如图所示, 经过 40 多个小时的测试, Co-RuRh 仍然可以维持稳定, 少部分的降解可以忽略不计。

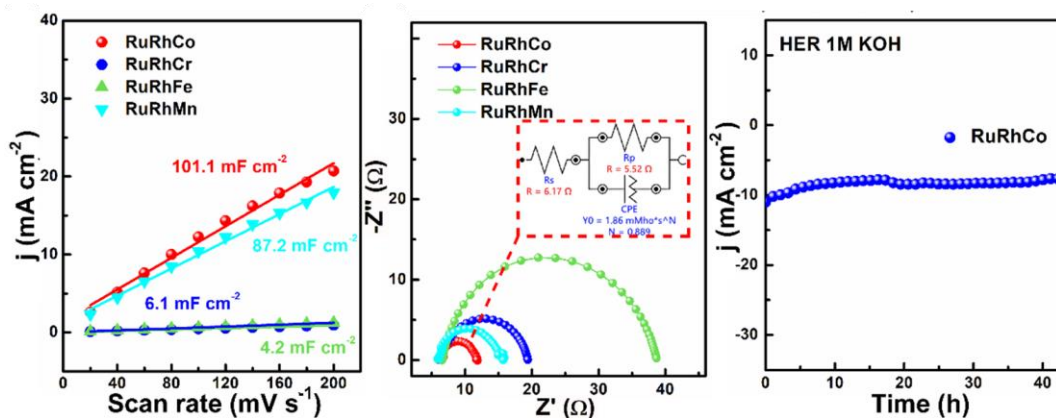


图 4. M-RuRh、RuRh 和商业 Pt 的  $C_{dl}$ 、阻抗图以及稳定性曲线

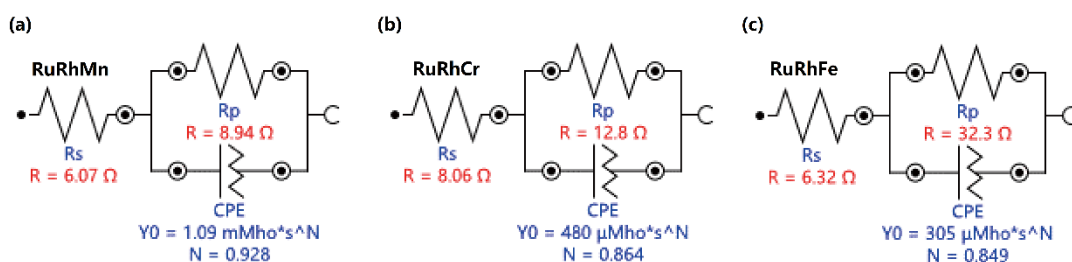


图 5. M-RuRh 电催化剂在 1.0 M KOH 溶液中对 HER 的等效电路

## (2) 析氧反应测试 (OER)

析氧反应测试在  $O_2$  饱和的 1.0 M KOH 电解液中进行，其测试方法与析氢反应测试相同，仅注意两个反应发生的电压区间不同。其性能评价标准也与析氢反应类似，但是析氢反应的标准电位为 0 V，所测得电位与 0 V 进行比较，析氧反应的标准电极电位为 1.23 V，所得过电位即为测得电位与 1.23 V 的差值。

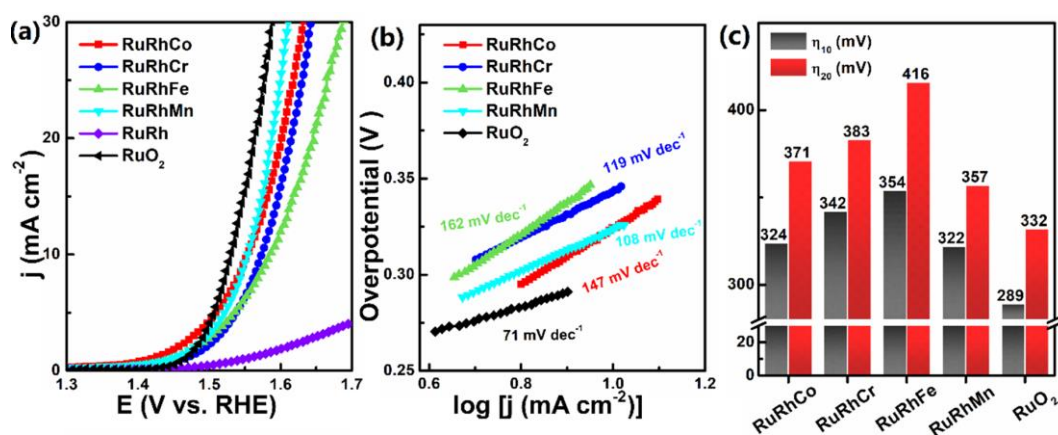


图 6. M -RuRh、RuRh 和商业  $RuO_2$  的析氧测试性能比较

图 6 展示了 M-RuRh 的析氧性能测试，结果表明在 1.0 M KOH 中，电流密度为 20 和 50  $mA\ cm^{-2}$  时，Mn-RuRh 的过电位分别为 322 和 357 mV，优于 Co-RuRh (324 和 371 mV)、Cr-RuRh (342 和 383 mV)、Fe-RuRh (354 和 416 mV)，尤其是从图中可以明显的观察到过渡金属掺

杂的 RuRh 催化剂比未掺杂的析氧性能有很大的提升。同时计算相应的塔菲尔斜率，获得了相同的趋势，Mn-RuRh 仍然具有最低的塔菲尔斜率 ( $108 \text{ mV dec}^{-1}$ )，由此可以得到 Mn-RuRh 在众多过渡金属掺杂 RuRh 合金催化剂中拥有最佳的析氧性能。

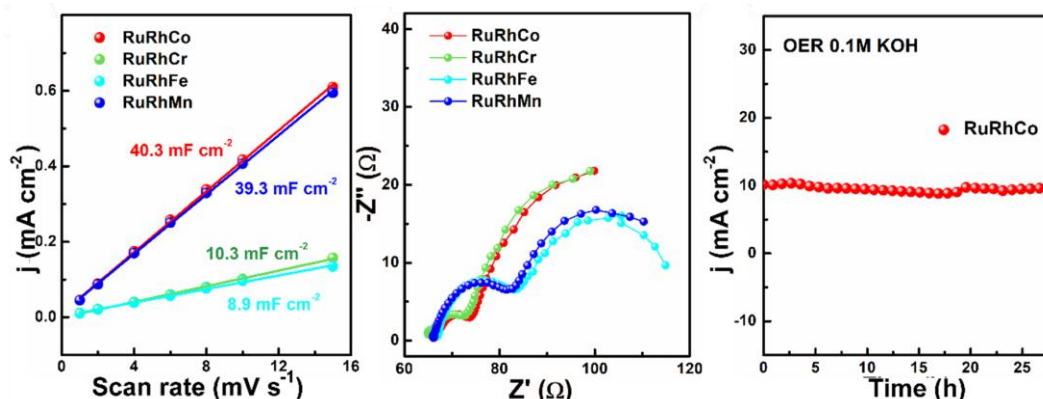


图 7. M-RuRh、RuRh 和商业 Pt 的  $C_{dl}$ 、阻抗图以及稳定性曲线

关于活性面积和阻抗值的拟合计算，析氧反应和析氢反应相同，图中已标注双电层电容值和阻抗的趋势。得到结论：Co-RuRh 的双电层电容值最大为  $40.3 \text{ mF cm}^{-2}$ ，即 Co-RuRh 的活性面积最大，当然 Mn-RuRh 的双电层电容值与 Co-RuRh 相差很小，我们实验中保证了样品的负载量和接触面积是相同的，所以可以确信 Mn-RuRh 和 Co-RuRh 活性面积大小基本相等，这个与 LSV 的测试结果也是一致的。在阻抗的测试中也证实了这一点，Mn-RuRh 和 Co-RuRh 的阻抗值相似，均小于 Cr (Fe) -RuRh。当然，我们也将 Co-RuRh 催化剂进行了恒电流的稳定性测试，结果证明 Co-RuRh 可以在电流密度为  $10 \text{ mA cm}^{-2}$  的条件下稳定工作 30 小时左右，降解可以忽略不计，稳定性良好。

### (3) 全解水反应测试 (OWR)

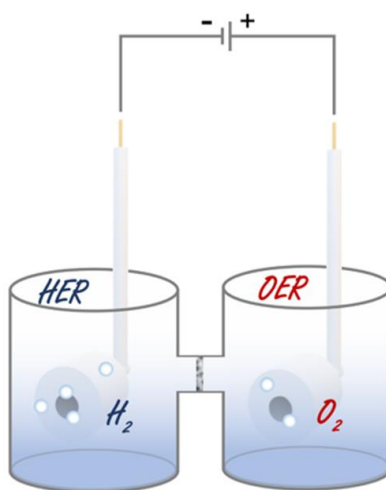


图 8. 全解水装置图



我们已知析氢反应和析氧反应是水分解的两个半反应，鉴于合成的过渡金属掺杂 RuRh 合金的催化剂都具有不错的析氢性能和析氧性能，所以组装全解水电解池测试其的全解水性能。全解水的标准电极电势为 1.23 V，装置图如图 8 所示。

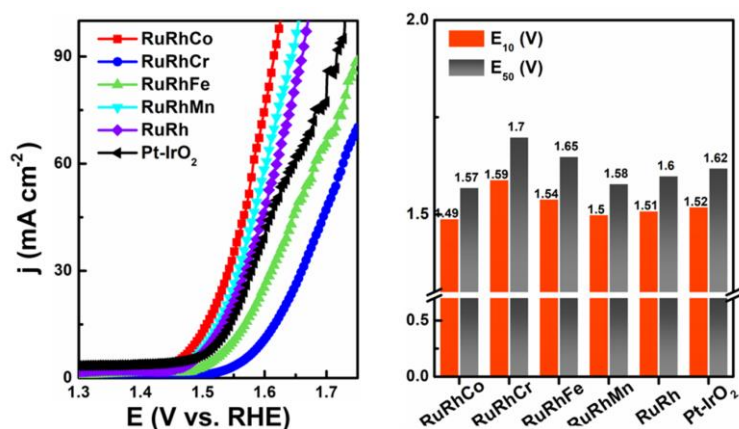


图 9. M -RuRh、RuRh 和商业催化剂的全解水测试性能比较

全解水测试结果如图 9 所示，水分解的标准电压是 1.23 V，与析氢、析氧反应类似，同样比较电流密度为 10 和 50 mA cm<sup>-2</sup> 情况下的电位，结果列于柱状图中。Co-RuRh 在 10mA cm<sup>-2</sup> 处仅需 1.49 V 电压，其他过渡金属掺杂纳米材料分别为 1.59 V (Cr-RuRh)、1.54 V (Fe-RuRh)、1.5 V (Mn-RuRh)、1.51 V (RuRh)、1.52 V (Pt-IrO<sub>2</sub>)；在电流密度为 50 mA cm<sup>-2</sup> 时，RuRh-Co 的电位为 1.57 V，其他过渡金属掺杂纳米材料分别为 1.7 V (Cr-RuRh)、1.65 V (Fe-RuRh)、1.58 V (Mn-RuRh)、1.62 V (RuRh)、1.82 V (Pt-IrO<sub>2</sub>)。电压限越低，能耗越低。

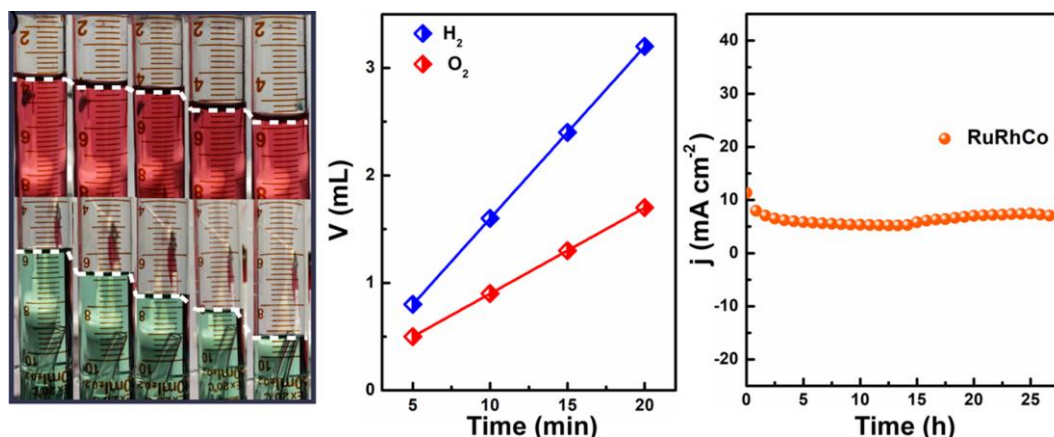


图 10. Co-RuRh 催化剂法拉第效率和稳定性测试

进一步实际测试催化剂分解水的效率，运用两电极体系，将 Co-RuRh 催化剂涂覆在电极表面，施加一定电压后，经过质子膜分离 H<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub>。将产生的两种气体进行收集，得到产生 H<sub>2</sub>: O<sub>2</sub> 的气体体积比约为 2: 1，与理论结果相符合。同时，仍然对催化剂进行稳定性实验，从图上可以看出在轻微的电位衰减后，催化剂还是可以稳定测试 30 小时左右。

#### (4) 结构表征

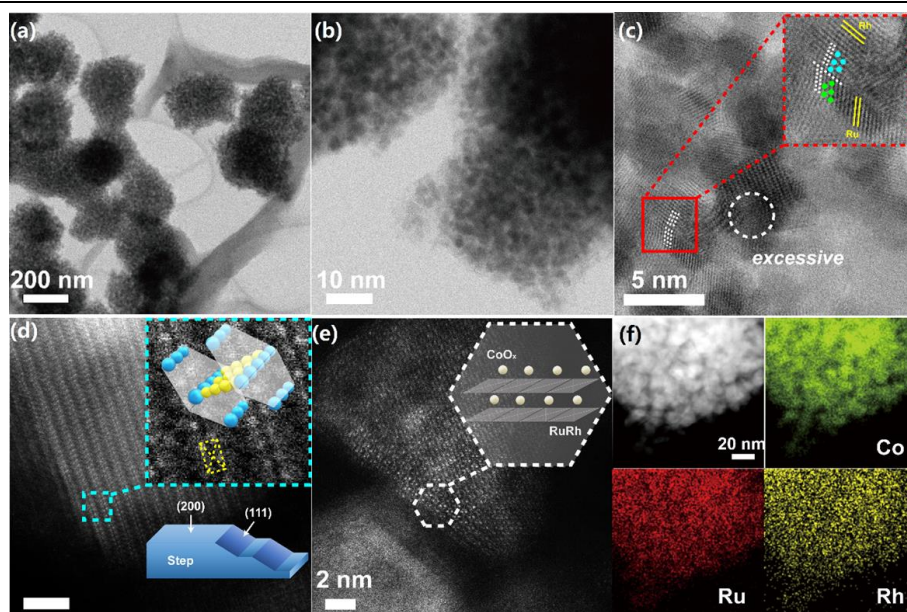


图 11. Co-RuRh 的低倍、高倍透射电镜图像

从图 11 中可以看出，合成的 Co-RuRh 整体呈现为尺寸超小的纳米颗粒结构，晶相均一，且成团簇状。高倍的电镜图可以清楚的观察到样品表面的晶格排布，发现由于过渡金属的掺杂，纳米颗粒表面的有序晶体排列被打乱，不同方向的晶体界面生长在一起，造成晶格扭曲和原子台阶，这种独特的结构会有利于反应过程中的电子传输，不饱和键增加从而导致更多的活性位点参与反应，为电子的运动提供更多的通道。另外元素扫描结果可以证实 Co 的成功掺杂，Co、Ru、Rh 在整个均相纳米颗粒中均匀分布。另外，我们通过 X 射线衍射 (XRD) 测试 Co-RuRh 的晶体结构并与未掺杂 Co 的 RuRh 进行比较，结果证明合成的 Co-RuRh 表面仍然匹配 Ru 和 Rh 的单质衍射峰，证实 Co 的掺杂并没有影响 RuRh 的合金结构，Co 进入 RuRh 合金内部且分布均匀。

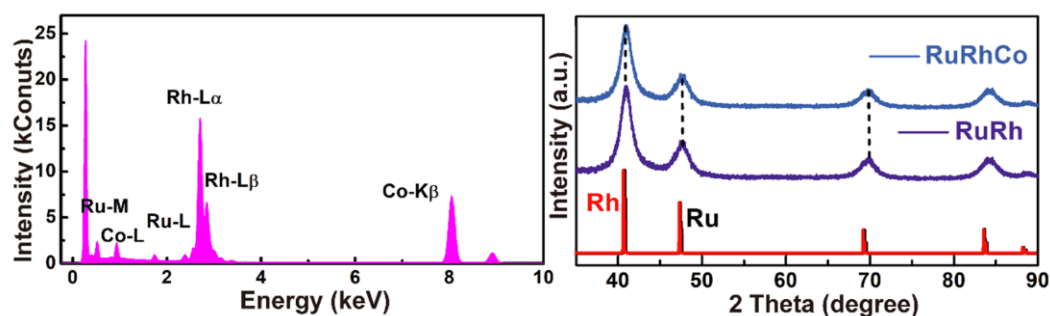


图 12. Co-RuRh 的元素分析和 XRD 测试结构分析

为了进一步探究不同过渡金属掺杂对于 RuRh 合金的形貌影响，我们对于合成的其他过渡金属引入 RuRh 的催化剂同样进行透射电镜表征，结果如图 13 所示，测试结果类似 Co-RuRh，通过低倍和高倍的电镜分析，说明即使是不同的过渡金属掺杂，RuRh 的基本形貌结构都没有被破坏，但是造成了一定的多界面结构，形成一定数量的缺陷位点，这也是



M-RuRh (M=Co、Fe、Cr、Mn) 催化剂的整体活性都高于 RuRh 的原因。

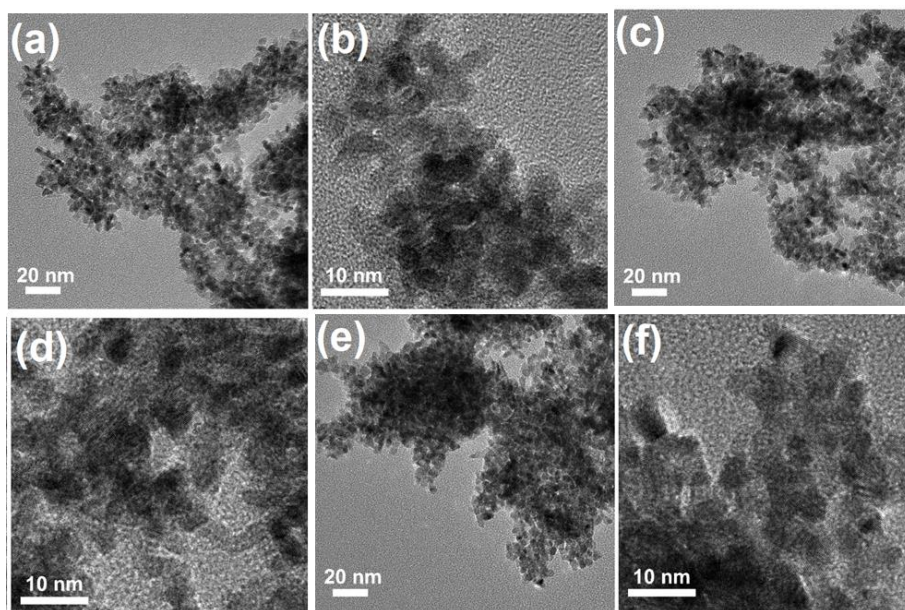


图 13. M-RuRh (M=Co、Fe、Cr、Mn) 的透射电镜图

X 射线衍射 (XRD) 测试结果如图 14 所示, 结果表明, 颗粒为金属结构, 未检测到其他杂质或金属氧化物衍射峰 Ru 和 Rh 结构相似, 合成的 M-RuRh (M=Cr; Fe; Co; Mn) 完美对应了 Ru 单晶和 Rh 单晶以及 RuRh 合金的活性晶面, 说明了我们所合成的纳米颗粒催化剂保留了贵金属的表面催化活性。

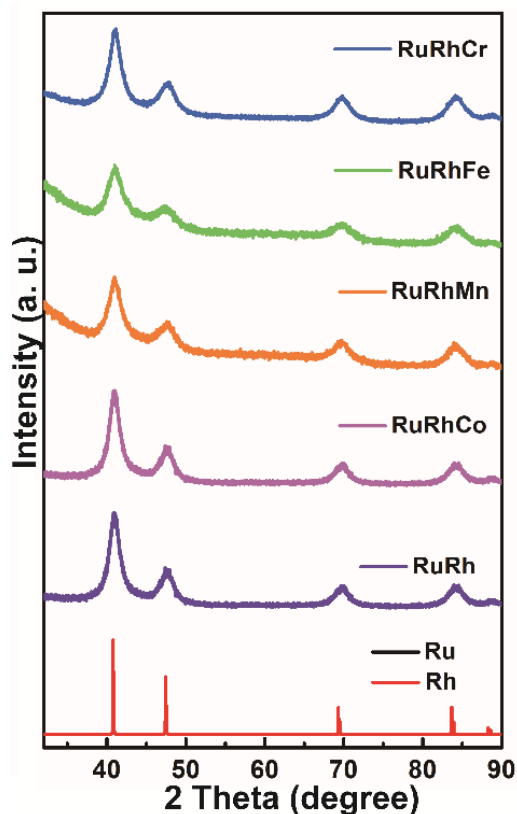


图 14. M-RuRh (M=Cr; Fe; Co; Mn) 和 RuRh 的 XRD 图谱

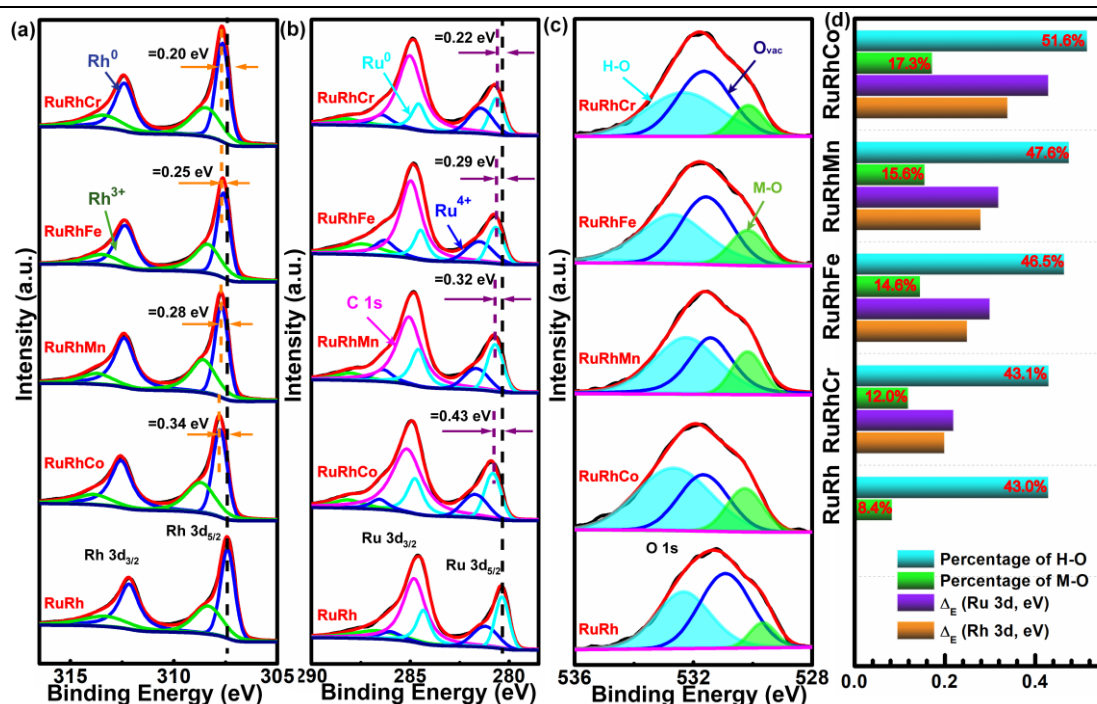


图 15. RuRh 和 M-RuRh (M=Co; Mn; Cr 和 Fe) 催化剂的 XPS 谱图比较

通过 X 射线光电子能谱 (XPS) 分析, Rh-3d 和 Ru-3d 轨道随着过渡金属物种的掺杂而向较高的氧化态移动, 表明 Rh (Ru) 周围的电子密度较低。因此, 催化剂对 H 的吸附强度降低, 有利于提高碱催化剂的催化性能。OM 氧化物物种的存在也证实了它们可以作为 OH 吸附位点, 提高 OER。总之, 在 RuRh 团簇中加入 OM 可以调节 Ru (Rh) 的 d 带电子, 平衡反应中间产物的吸附和解吸, 有利于反应的进行。

为了更好地了解氧化状态, 进一步测量了 RuRh 团簇和 M-RuRh (M=Co; Mn; Cr 和 Fe) 的 O 1s XPS。如图 14 所示, 在 O 1s 光谱中可以存在三种不同的氧物种。位于 530.7、532.5 和 531.6 eV 的峰分别归属于晶格氧、羟基 (M-OH) 和  $O_{vac}$  物种。因此, 与 RuRh 团簇相比, 原始金属表面上存在大量氧化物物种。此外, O 的结合能表明, M-O 和 M-OH 共存于表面, 随着表面 OH 或 M-O 物种在 M-RuRh 上所占比例的增加, RuRh-OM 轨道上的电子占有率进一步降低, 表面吸附增强。

### 3. 实验总结

由上实验结果, 可以得出过渡金属 (0.13 wt% Co; 0.23 wt% Mn; 2.4 wt% Cr; 1.3 wt% Fe) 被限制在掩埋界面的 RuRh 团簇晶格中, XRD 和 XPS 的测试结果相互印证说明, 掺杂形成的独特界面结构有利于反应过程中电子的传输, 表现出特别高的催化活性。并在碱性条件下表现出出乎意料的 HER/OER 和整体的水分解性能。本研究为合理设计 HER/OER, 为多功能电催化剂提供了新的思路。

## 研究成果:

1. **Yujia Cui<sup>#</sup>**, Zihan Xu<sup>#</sup>, Ding Chen<sup>#</sup>, Tingting Li, Hao Yang, Xueqin Mu, Xiangyao Gu, Hong Zhou, Suli Liu\*, Shichun Mu\*. Trace Oxophilic Metal Induced Surface Reconstruction at Buried RuRh Cluster Interfaces Possesses Extremely Fast Hydrogen Redox Kinetics. *Nano Energy*, 2021, 90, 106579. (SCI 一区, IF=17.881)
2. **Xiangyao Gu**, Shuangshuang Li, Wenqian Shao, Xueqin Mu, Yuxin Yang, Yu Ge, Weitao Meng, Guangxiang Liu\*, SuLi Liu\*, Shichun Mu\*, Cation/anion Dual-vacancy Pair Modulated Atomically-thin  $\text{Se}_x\text{-Co}_3\text{S}_4$  Nanosheets with Extremely High Water Oxidation Performance in Ultralow-concentration Alkaline Solutions, *Small*, 2022, 2108097. (SCI 一区, IF=13.281)
3. 刘苏莉, **崔雨佳**, 徐子瀚, 穆雪琴, 陈昌云, 张娟, 一种过渡金属掺杂钌铑合金的制备方法及其应用, 申请号: CN202010917568.5
4. 刘苏莉, 戴世鹏, 陈嘉冰, **顾祥耀**, 尚鸣, 费蓉碧, 朱金晶, 陈雨, 穆雪琴, 一种 Ru 修饰  $\text{FeCo@NF}$  电催化剂的制备方法及应用, 申请号: CN2021110979526
5. 李亭亭, 杨慧红, 邵文倩, 封飞艳, 费蓉碧, 葛郁, 刘苏莉, **顾祥耀**,  $\text{Co}_3\text{S}_4$  掺杂  $\text{SnS}_x$  异质纳米片的制备方法和应用, 申请号: CN2022103478912
6. 刘苏莉, 戴世鹏, 陈嘉冰, **顾祥耀**, 费蓉碧, 朱金晶, 陈雨, 穆雪琴, 一种  $\text{Fe}_x\text{-Co}_3\text{S}_4$  纳米片及其制备方法和应用, 申请号: CN202210405925.9

## 研究心得:

“金属 Ru/Rh 修饰钴基磷化物纳米晶的合成和全解水性能的测定”项目从申请立项至今, 从搜索学习文献到联系购买材料, 从一步步实验过程到一个个结果测试, 从发现分析解决问题到提高改善性能, 一路走来, 感觉收获颇丰。实验过程中会遇到很多困难, 这个时候除了寻求帮助, 更重要的还是自己思考, 然后不断的去学习摸索, 直到找出解决问题的答案。本次大创合作项目培养了自己的责任心和自制力, 同时也提升了团队合作精神。实验过程中, 组员之间相互磨合, 共同进步, 大家均养成了详细记录数据的习惯, 细心, 认真, 注重实验细节更是每位组员的基本技能。实验探索过程中, 有时会出现“停滞不前”的现象, 这时要发散思维多方位思考, 做出大胆的猜测, 但是猜测也要基于文献阅读的基础, 在一步步的落实自己的猜想。这就要求我们要有足够的耐心与信心坚持不懈的走下去。

## 二、项目创新点与特色

1. 不同于传统的高含量掺杂，本项目通过混合溶剂的方法将亲氧金属物种（Co、Mn、Cr、Fe）以超低含量，负载到 RuRh 团簇上，以实现 RuRh 双金属电催化剂的过渡金属掺杂。这是一种方法简单、新颖、高效的掺杂思路，系统深入的开展这方面的研究，有望在开发新的反应体系和方法以及纳米结构的性能等方面获得新的突破。
2. 通过本项目的开展，阐明了所观察到的 M-RuRh（M=Co；Mn；Cr；Fe）上的 HER 活性增强的主要原因，为设计具有特殊功能的 Co 基纳米材料提供了理论指导，这是一项重要的基础性工作。
3. 同时，作为一种 OH<sup>-</sup>吸附促进剂，这种独特的催化剂也有利于 OER。这些发现进一步促进了我们对 HER/OER 催化作用的基本认识，并为合理设计 HER/OER 氧化还原电催化剂提供了希望。

## 三、项目成果：

项目申请书中的 <b>预期</b> 成果及成果提交形式：	公开发表论文（ 1 ）篇、专利（ 1 ）项、调查报告（ ）份 软件、著作（ ）份、实物（ ）件、竞赛获奖（ ）次 其它（ ）
项目 <b>结题</b> 时取得的成果：	公开发表论文（ 2 ）篇、专利（ 4 ）项、调查报告（ ）份 软件、著作（ ）份、实物（ ）件、竞赛获奖（ 2 ）次 其它（ ）

## 项目主要研究成果情况

序号	成果名称 (获奖名称及等级)	成果形式	作者 (获奖者)	出版社、发表 刊物或颁奖单 位	时间 (刊期)
1	Trace oxophilic metal induced surface reconstruction at buried RuRh Cluster Interfaces Possesses Extremely Fast Hydrogen Redox Kinetics.	SCI 论文	崔雨佳	Nano Energy (SCI 一区, IF=17.881)	2021.106579

2	Cation/anion Dual-vacancy Pair Modulated Atomically-thin Se <sub>x</sub> -Co <sub>3</sub> S <sub>4</sub> Nanosheets with Extremely High Water Oxidation	SCI 论文	顾祥耀	Small (SCI 一区, IF=13.281)	2022.2108097
3	一种过渡金属掺杂钨铈 合金的制备方法及其应 用	专利	崔雨佳	国家知识产权 局	申请号: 202010917568.5
4	一种 Ru 修饰 FeCo@NF 电催化剂的制备方法及 应用	专利	顾祥耀	国家知识产权 局	申请号: 202111097952.6
5	Co <sub>3</sub> S <sub>4</sub> 掺杂诱导 SnS <sub>x</sub> 晶格 膨胀助力用于高效电解 水产氧气	专利	顾祥耀	国家知识产权 局	申请号: 202210347891.2
6	一种原位 Fe 掺杂提高 Co <sub>3</sub> S <sub>4</sub> 高效、高产非贵金 属催化剂的制备方法	专利	顾祥耀	国家知识产权 局	申请号: 202210405925.9
7	《Ru 修饰过渡金属氧化 物表界面调控及电解水 制氢》校级挑战杯二等奖	获奖证书	崔雨佳、封 飞艳、朱 洋、谷佳妮	南京晓庄学院	2021.5
8	《绿氢春——氢燃料电 池催化剂的先驱者》校级 挑战杯一等奖	获奖名 单公示	崔雨佳、李 亭亭、戴世 鹏、封飞艳 等	南京晓庄学院	2022.4



#### 四、研究体会和心得（500 字以内）：

“金属 Ru/Rh 修饰钴基磷化物纳米晶的合成和全解水性能的测定”项目从申请立项至今，一路走来，感觉收获颇丰。

在实践方面，最深的体会就是要勤于思考。做的课题对于我们来说，是一个没有接触过的新领域，没有人告诉我们下一步怎么做，以及做出来的东西会有什么样的结果，一切都是未知的。这就需要我们自己去查找文献，去弄明白各个反应的原理，各种表征结果的解释。然后整理实验方案，调整实验过程，一步步迈向答案的尽头。

在创新方面，首先要确定创新的方向和目标。方向和目标贯穿整个实验的核心，只有明确方向，围绕这个方向努力下去，才能得到我们想要的答案。确立了创新点后就要开始整个实验了，可以先熟悉几次实验过程，再认真研究。此时一定要注意经验的积累，能够提出大胆的猜想，并为之付出实践。每一次重复实验都有可能会出现偏差，此时，不要气馁与灰心，相信自己，收拾好坏心情重新理实验方案，认真分析结果有差异的原因，总会得到应有的结果。只管努力，剩下的交给时间。

#### 五、经费使用明细情况

项目获批总经费： <u>5000</u> 元	项目实际投入经费： <u>5000</u> 元		
	实际使用资金： <u>5000</u> 元	结余资金： <u>0</u> 元	
项目经费开支情况			
名目	用途	金额	备注
论文版面费			
专利申请费			
调研、差旅费			
打印、复印费			
资料费			
试剂等耗材费	购买药品	1000	
元器件、软硬件测试、小型硬件购置费等；	表征测试	4000	

<p><b>项目组承诺：</b></p> <p style="text-align: center;"><b>我保证上述填报内容的真实性，经费使用规范合理，项目成果无弄虚作假情况。</b></p> <p>             主持人签名：_____ 项目组其他成员签名：_____             <span style="float: right;">年    月    日</span> </p>				
<p><b>指导教师意见（包括项目的组织实施、研究成果、经费使用等情况）：</b></p> <p>“金属 Ru/Rh 修饰钴基磷化物纳米晶的合成和全解水性能的测定”项目小组同学积极主动地参与课题研究活动，并密切与我保持联系。组内成员能较好地分工合作，达到研究目的，取得了较好的研究结果，本实验研究的结果为制备其他过渡金属硫族化合物作为电解水的催化剂的研究提出了一种简便有效的策略。此外，本大创项目经费使用合理规范。</p> <p>项目开展过程中，同学们的学习能力、研究能力和创新能力得到了提升，希望在后续学习中再接再厉，取得更大成绩。</p> <p>同意项目结题！</p> <p style="text-align: right;">指导教师签名：_____</p> <p style="text-align: right;">年    月    日</p>				
<p><b>学校评审意见（项目的完成质量、学术水平以及推广应用价值）</b></p> <div style="height: 100px; border: 1px solid black; margin-top: 10px;"></div> <p style="text-align: right;">年    月    日</p>				
综 合 评 定	课 题 完 成 情 况	<input type="checkbox"/> 按计划完成，取得预期成果	成 果 的 创 新 性	<input type="checkbox"/> 很好
		<input type="checkbox"/> 基本完成，但是与预期目标尚有差距		<input type="checkbox"/> 较好
		<input type="checkbox"/> 未达到预期目标		<input type="checkbox"/> 一般
	评价等级	<input type="checkbox"/> 优秀 <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格 <input type="checkbox"/> 建议终止项目		
<b>省教育厅审核意见</b>		<input type="checkbox"/> 同意结题 <input type="checkbox"/> 暂缓结题 <input type="checkbox"/> 终止项目		

“综合评定”所有栏目为学校“工作负责人”进行勾选。

如果评价等级为“优秀”，则自动推荐填写“优秀项目”展示模板或者“论文展示”，提交学校管理员审核后即可预发布，系统管理员审核后正式发布。

如评价等级为“不合格”则至少在 3 个月后才能再次提交“结题申请书”。