

北京化工大学

2020年“申请-考核”制选拔博士研究生

申 请 表

姓 名 莫雨凡

报 考 学 院 化学学院

报 考 学 科 专 业 化学专业

报 考 导 师 _____

研 究 方 向 组装化学与资源有效利用

最后获得学位及时间 理学硕士 2020.06

最后学位授予单位 北京化工大学

年 月 日

姓 名	莫雨凡	出生日期		性 别		照 片
籍 贯		民 族		政治面貌		
职称职务	学生		身份证号			
现在工作单位或学习单位(详细)	北京化工大学化学学院					
最后学位及时间	理学硕士 2020.06	获学位单位	北京化工大学	专业名称	化学专业	
最后学历及时间	硕士 2020.06	毕业学校	北京化工大学	专业名称	化学专业	
学习工作经历(从大学开始)	起止年月	学 习 和 工 作 单 位			任何职务	
	2013.09 – 2017.06	南开大学			学生	
	2017.09 – 2020.06	北京化工大学			学生	

<p>曾参与的科研项目、发表科研论文著作、获得奖项 (可附页)</p>	<p>1. Facile Fabrication of Mesoporous Hierarchical Co-Doped ZnO for Highly Sensitive Ethanol Detection, Ind. Eng. Chem. Res., 2019, 58, 19, 8061-8071</p> <p>2. Amorphous Fe(OH)_x and Oxygen Activated FeRu(OH)_x Nanosheets Array for Highly Efficient Overall Water Splitting (已撰写完毕, 准备投稿至 Advanced Materials)</p>
---	---

考生研究生论文主要成果介绍，科研能力自我评价，对学科专业现状与发展方向的见解，以及拟攻读博士学位的科研计划。

论文主要成果介绍：

将具有优异电催化性能的 Ru 引入水滑石层板，借助水滑石层板的晶格定位效应，使 Ru 元素在层板上高度分散，以提高 Ru 的利用率，并通过焙烧、磷化等手段获得了系列氧化物和磷化物，考察了所制备电催化材料的 HER 和 OER 性能。取得的主要成果如下：

1、构筑了具有优异 OER 性能的无定型 $\text{Fe}(\text{OH})_x$ 纳米片阵列，在 1 M KOH 电解质中，达到 10、100、300 和 800 mA cm^{-2} 电流密度时的过电势分别仅为 221、241、245 和 272 mV，Tafel 斜率仅为 31.9 mV dec^{-1} ，活性优于 RuO_2 催化剂，在 272 mV 的过电势下其质量活性高达 5000 A g^{-1} ，是目前性能最为优异的 OER 催化材料之一。

2、构筑了不同 Fe/Ru 摩尔比的 $\text{Fe}_y\text{Ru}(\text{OH})_x$ 纳米片阵列，该阵列显示出优异的 HER 性能，在 1 M KOH 电解质中，达到 10、100、300 和 800 mA cm^{-2} 电流密度时的过电势分别仅为 21、57、78 和 158 mV，优于 Pt/C 催化剂；其 Tafel 斜率仅为 36.4 mV dec^{-1} ，在 78 和 165 mV 的过电势下其质量活性分别高达 2000 和 5800 A g^{-1} ；以无定型 $\text{Fe}(\text{OH})_x$ 纳米片阵列为正极、 $\text{FeRu}(\text{OH})_x$ 纳米片阵列为负极构筑全解水电解槽 $\text{Fe}(\text{OH})_x(+)\|\text{Fe}_5\text{Ru}(\text{OH})_x(-)$ ，达到 10、100、300 和 800 mA cm^{-2} 电流密度时的电压仅为 1.470、1.533、1.561 和 1.580 V，远优于 $\text{RuO}_2(+)\|\text{Pt}(-)$ 电极构筑的电解槽。

3、制备了系列 Co_yRuO_x 氧化物纳米片阵列，发现 Co/Ru 摩尔比为 3 的 Co_3RuO_x 纳米片阵列具有最优的 HER 性能，在 1 M KOH 电解质中，达到 10、100、300 和 800 mA cm^{-2} 电流密度时的过电势分别仅为 20、59、72 和 103 mV，优于 Pt/C 催化剂，在 103 mV 的过电势下其质量活性高达 2600 A g^{-1} ；OER 性能测试表明 Co_3RuO_x 纳米片阵列达到 10、100 和 300 mA cm^{-2} 电流密度时的过电势分别仅为 259、336 和 366 mV，优于 RuO_2 催化剂。

鉴于 Co_3RuO_x 纳米片阵列优异的 HER 性能，将其与无定型 $\text{Fe}(\text{OH})_x$ 纳米片阵列作为电极构筑全解水电解槽 $\text{Fe}(\text{OH})_x(+)\|\text{Co}_3\text{RuO}_x(-)$ ，达到 10、100、300 和 800 mA cm^{-2} 电流密度时的电压仅为 1.508、1.577、1.615 和 1.641 V，远优于 $\text{RuO}_2(+)\|\text{Pt}(-)$ 电极构筑的电解槽。

4、在 NF 表面构筑不同 Fe/Ru 摩尔比的 Fe_yRuP_x 纳米片阵列，研究发现，Fe/Ru 摩尔比为 4 的 Fe_4RuP_x 纳米片阵列具有优异的 HER 性能，在 1M KOH 电解质溶液中仅需 31、55、71 和 131 mV 的过电势即可产生 10、100、300 和 800 mA cm^{-2} 电流密度，在 131 mV 的过电势下其质量活性高达 3000 A g^{-1} ，优于 Pt/C 催化剂。以 Fe_4RuP_x 纳米片阵列与无定型 $\text{Fe}(\text{OH})_x$ 纳米片阵列构筑全解水电解槽 $\text{Fe}(\text{OH})_x(+)\|\text{Co}_3\text{RuO}_x(-)$ ，达到 10、100 和 300 mA cm^{-2} 电流密度时的电压仅为 1.473、1.526 和 1.546 V，远优于 $\text{RuO}_2(+)\|\text{Pt}(-)$ 电极构筑的电解槽。

科研自我评价：

本人具有扎实的理论基础和宽广的专业知识，在科研过程中勤奋努力，善于思考问题和解

决问题；通过阅读文献开阔了视野和研究思路，为博士阶段的学习和研究奠定了坚实的基础。

学科专业现状与发展方向的见解：

氢气作为解决能源危机与环境危机的重要能源，具有广阔的应用前景，受到了越来越广泛的关注。电解水制氢具有氢气纯度高、绿色无污染、有利于大规模生产等优点而成为研究的重点领域之一。在电解水过程中，电催化材料的性能决定了能耗的高低，其中 Pt 基析氢催化剂和 Ir、Ru 基析氧催化剂具有非常优异的催化活性，但其价格昂贵，不适合大规模应用。因而提高贵金属的活性以减少其使用量并开发基于廉价金属的电催化剂成为了研究的重点。近年来，研究发现过渡金属（如 Co、Ni、Fe、Mn、Mo 等元素）氢氧化物、氧化物、硫化物、磷化物、氮化物等具有较为优异的电解水催化活性，且过渡金属储量丰富，价格低廉，逐渐成为了电解水催化材料研究的热点。其中，层状复合金属氢氧化物（LDHs）因组成和结构的可调变性以及较为优异的性能，在电解水领域中的相关研究呈现出快速增长的趋势。但在碱性电解质中，其 HER 和 OER 性能仍有待进一步提高，以克服其匹配性差的缺陷。因此，基于 LDHs 的可调变性开展价格低廉、性能优异的电解水催化剂研究对降低电解水的成本和能耗，促进电解水制氢的规模化应用具有非常的意义。

科研计划：

在博士阶段，申请人将围绕高性能电解水催化材料构筑的目标，基于 LDHs 材料组成和结构的可控性，开展 LDHs 及其衍生物纳米片阵列的构筑方法、结构调控和构效关系研究，具体将开展以下研究：

（1）LDHs 纳米片阵列的设计与制备

根据 LDH 的构筑原则，以 Co、Ni、Fe 等元素为构筑 LDH 层板的主体基元，并引入 Cr、Ti、Ce、V、Ru 等元素对层板进行调控，以泡沫镍及过渡金属氧化物、磷化物、硫化物、氮化物纳米片阵列为基底，开展溶剂热法、原位生长法、模板法等方法制备 LDHs 纳米片阵列，探索反应温度、时间、投料比、溶剂配比等制备条件对 LDHs 纳米片阵列结晶度、组成、片层厚度和形貌等的影响，优化制备条件，获得 LDHs 纳米片阵列的制备规律。

（2）LDHs 纳米片阵列的拓扑转变

通过焙烧、磷化、硫化和氮化处理，使 LDHs 纳米片阵列拓扑转变为相应的氧化物、磷化物、硫化物和氮化物纳米片阵列，并在微观结构上实现元素掺杂或异质结构建，探索升温速率、焙烧温度、时间等处理条件等对纳米片阵列晶相结构、化学组成、形貌、晶粒尺寸、比表面积、

	<p>电子结构、缺陷等的影响规律。</p> <p>(3) LDHs 及其衍生物纳米片阵列 HER/OER 性能与构效关系研究</p> <p>利用线性伏安扫描 (LSV) 方法测试电极的极化曲线, 获得不同过电势对应的电流密度, 并计算得到 Tafel 斜率; 通过测试不同扫描速率下的循环伏安 (CV) 曲线得到电极的双电层电容, 并进一步计算材料的电化学活性面积 (ECSA); 采用 EIS 阻抗测试获得电极的交流阻抗数据, 利用计时电流法和计时电位法对电极材料进行长时间电解水测试, 考察其稳定性。结合所有数据, 研究化学组成、晶粒尺寸、比表面积、配位结构、电子结构、缺陷等因素对对电极材料的 HER/OER 性能的影响, 进而在微介观尺度上揭示所制备的纳米片阵列组成、结构与性能之间的内在关系, 获得具有指导意义的结论和规律。</p>
报 考 导 师 推 荐 意 见	<p>一、对考生科研成果、科研能力、培养潜质、综合素质等方面的评价:</p> <p>经过硕士阶段的学习, 该生已经具备了较强的文献阅读能力, 熟练掌握了实验技能和测试表征分析方法; 该生对科研工作充满热情, 而且踏实工作, 基本具备独立分析问题和解决问题的能力, 对实验现象和相关结果能够运用基础理论进行深入分析, 并合理设计实验方案, 表现出了突出的学习能力、科研能力与发展潜力; 硕士研究生阶段取得了较为丰硕的科研成果, 以第一作者身份发 SCI 论文 1 篇, 另有 1 篇已撰写完毕, 即将投稿, 说明该生较好地掌握了学术论文的写作技能, 具有较强的创新能力。</p> <p>二、对考生以考核方式参加入学考试的意见:</p> <p>该生在硕士研究生阶段表现出具有较强的科研能力和创新能力, 同意该考生以考核方式参加入学考试。</p> <p style="text-align: right;">报考导师签字: _____ 年 月 日</p>

考 核 小 组 考 核 情 况	考核小组成员				
	一、对考生提交材料及报告的评价				
	考核评分	外语水平 (百分制)		专业知识 (百分制)	综合能力 (百分制)
	学院申请考核博士生选拔领导小组综合评价意见：				
学院申请考核博士生选拔领导小组拟录取意见：					
考核小组组长签字：			年 月 日		
培养 单位 拟录 取意 见	招生工作领导小组意见：				
(公章)			年 月 日		