

中国科学院物理研究所 EX4i组供稿  
北京凝聚态物理国家研究中心

第82期

2019年12月13日

## 高效非晶合金析氢反应催化剂

氢气具有极高的比能量，燃烧产物只有水，因此被视为清洁能源载体。电解水，即将水电解生成氢气和氧气，是一种清洁的产氢方式。为了促进电解水析氢反应 ( $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ ) 的进行，在较低过电位下实现较高的反应速率，常需要使用高效的催化剂。在酸性条件下，Pt和Ir等铂系金属是最有效的析氢反应催化剂。为了更有效地使用Pt和Ir等铂系金属，人们提出了两种主要的策略：1、降低贵金属催化材料的维度以提高比表面积；2、将贵金属与非贵金属元素制成合金以减少贵金属的用量。虽然将这两种策略结合起来更有希望获得活性更高、贵金属用量更低的催化材料，但以非贵金属元素为主的合金催化剂很可能在酸性条件下因腐蚀而导致稳定性不足。

非晶合金（又称金属玻璃）是一类新型的多组元合金材料，具有独特的无序原子结构。与原子处于平衡位置的晶体材料不同，亚稳态的非晶合金表现出许多优异的力学和物理化学特性，吸引了材料科学和凝聚态物理等多个领域的广泛关注。中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心柳延辉、汪卫华团队近期在非晶合金领域引入材料基因工程理念，发展了独特的高通量实验方法，实现了非晶合金新材料的高效探索，成功研制出Ir-Ni-Ta高温非晶合金新材料体系[Nature, 99, 569 (2019)]。这一新材料体系除了表现出优异的力学性能，也蕴含着丰富的、仍待探索的功能特性。例如，Ir-Ni-Ta非晶合金具有强耐蚀的特点，可在王水中浸泡数月而不被腐蚀。结合Ir元素的催化活性，这一材料体系有望解决以非贵金属为主的合金催化剂在酸性条件下稳定性不足的问题。

最近，该团队开展了Ir-Ni-Ta非晶合金催化性能的研究，该团队博士生王子鉴在柳延辉研究员、汪卫华研究员和西南石油大学葛性波副教授的共同指导下，通过离子束溅射沉积方法制备了 $\text{Ir}_{25}\text{Ni}_{33}\text{Ta}_{42}$ 非晶合金薄膜，测试了Ir-Ni-Ta这一新材料体系在酸性条件下的析氢反应本征催化活性和稳定性。

$\text{Ir}_{25}\text{Ni}_{33}\text{Ta}_{42}$ 非晶合金薄膜的厚度为15 nm，贵金属Ir的负载量约为 $8.14 \mu\text{g cm}^{-2}$ 。值得指出的是，该薄膜的表面呈现出接近原子级别的平整度，这对于评价材料的本征催化活性极为重要。在0.5 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 环境下，该 $\text{Ir}_{25}\text{Ni}_{33}\text{Ta}_{42}$ 非晶合金薄膜仅需99 mV的过电位即可驱动 $10 \text{ mA cm}^{-2}$ 的电流密度。虽然这一数值高于同样条件下的Pt (46 mV) 和Ir (59 mV) 薄膜的过电位，却远低于如CoP (202 mV) 等磷化物薄膜的过电位。 $\text{Ir}_{25}\text{Ni}_{33}\text{Ta}_{42}$ 非晶合金薄膜的塔菲尔斜率为 $35 \text{ mV dec}^{-1}$ ，与Pt ( $28 \text{ mV dec}^{-1}$ ) 和Ir ( $30 \text{ mV dec}^{-1}$ ) 薄膜的相近。在1000次循环伏安扫描后， $\text{Ir}_{25}\text{Ni}_{33}\text{Ta}_{42}$ 非晶合金薄膜的催化活性并未发生变化；在 $10 \text{ mA cm}^{-2}$ 的恒定电流密度下检测过电位的变化，经过10小时的测试，其过电位的增加仅为50 mV。与之相比，Pt和Ir薄膜在10小时测试后过电位的增加则分别高达250和200 mV。这说明 $\text{Ir}_{25}\text{Ni}_{33}\text{Ta}_{42}$ 非晶合金薄膜具有比Pt和Ir更高的催化稳定性。

和已报道的非晶合金催化剂相比， $\text{Ir}_{25}\text{Ni}_{33}\text{Ta}_{42}$ 非晶合金薄膜兼具较低的过电位和塔菲尔斜率。尤为重要的是，其催化活性并非来源于复杂的表面结构或高的贵金属负载量，而是本征性能。计算表明， $\text{Ir}_{25}\text{Ni}_{33}\text{Ta}_{42}$ 非晶合金在单位时间单个活性位点上生成的氢气分子的数目要远高于过渡金属硫化物和磷化物，并且可以和其他含贵金属的催化剂相媲美。 $\text{Ir}_{25}\text{Ni}_{33}\text{Ta}_{42}$ 非晶合金的优异催化性能主要归因于其合金体系和非晶态结构。这项工作不仅为析氢反应催化材料提供了一个新体系，还有助于设计开发用于其他异相催化反应的多元合金。

该研究工作得到了国家杰出青年科学基金 (51825104)、中国科学院前沿科学重点研究计划 (QYZDY-SSW-JSC017)、中国科学院战略性先导科技专项 (XDB30000000)、国家重点研发计划 (2018YFA0703601) 以及国家自然科学基金 (11790291, 61888102) 等项目的支持。

相关研究成果最近在线发表于Advanced Materials。文章链接: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adma.201906384?af=R>。

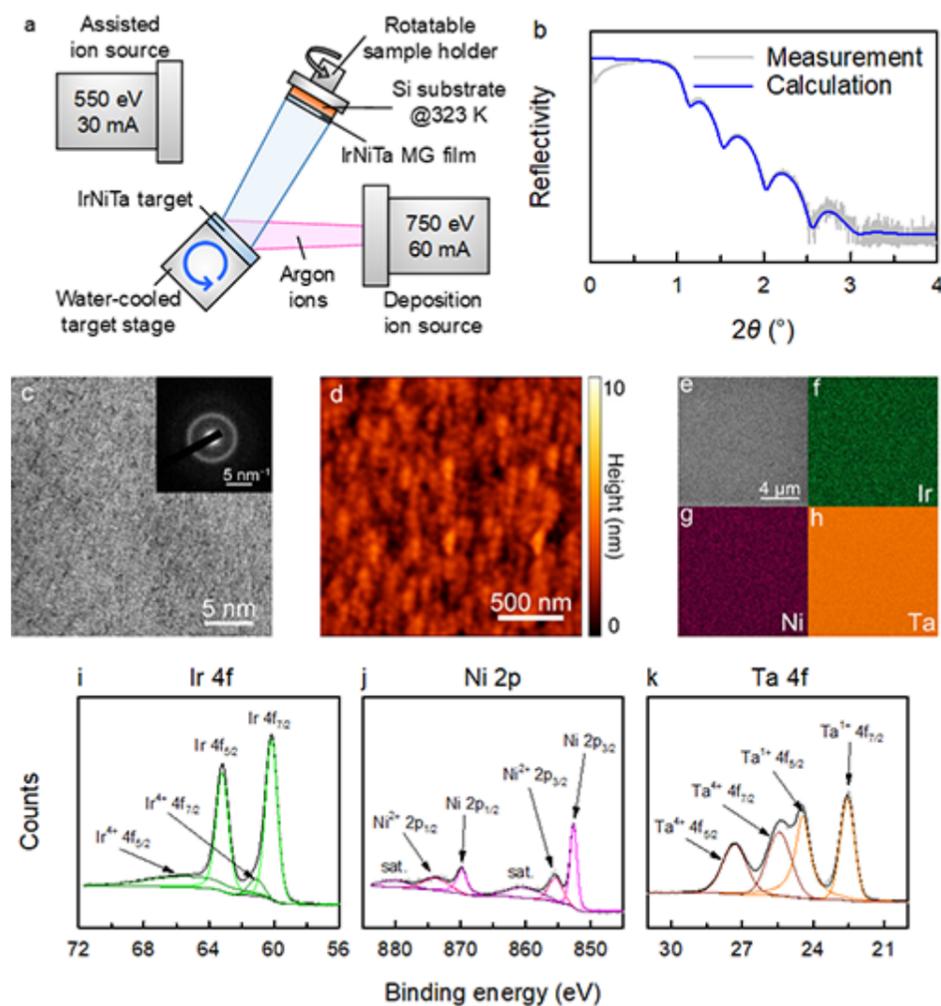


图1.  $\text{Ir}_{25}\text{Ni}_{33}\text{Ta}_{42}$ 非晶合金薄膜的制备和表征

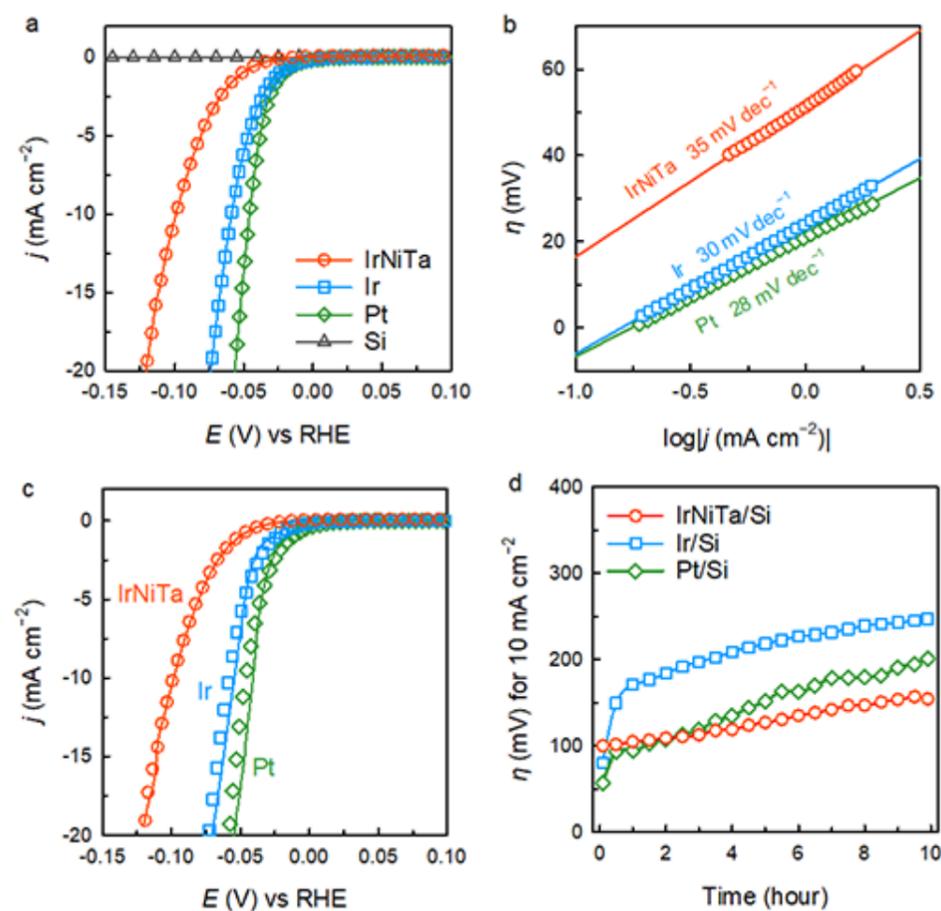


图2.  $\text{Ir}_{25}\text{Ni}_{33}\text{Ta}_{42}$ 非晶合金薄膜的析氢反应催化活性和稳定性

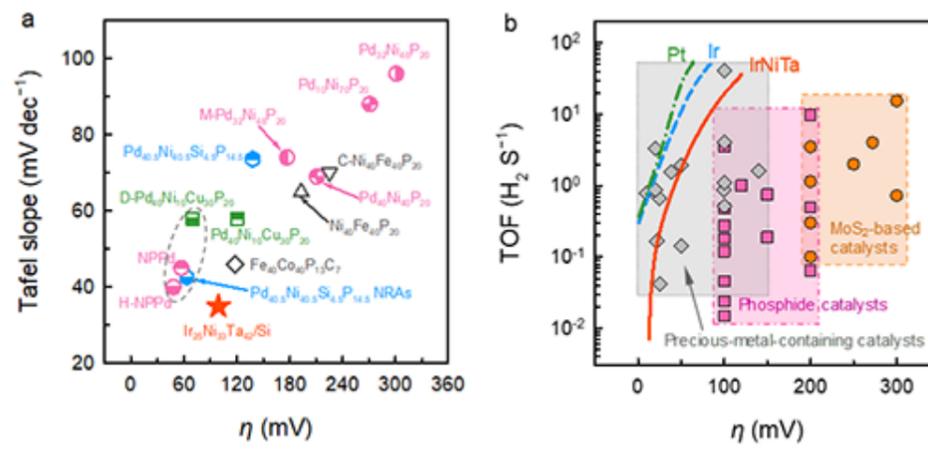


图3. Ir<sub>25</sub>Ni<sub>33</sub>Ta<sub>42</sub>非晶合金薄膜与其他材料的析氢反应催化性能比较

[adma.201906384.pdf](#)

公开课 微信 联系我们 友情链接 所长信箱 违纪违法举报



中国科学院  
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

版权所有 © 2015-2020 中国科学院物理研究所 京ICP备05002789号 京公网安备1101080082号 主办：中国科学院物理研究所 北京中关村南三街8号 100190