

无杂原子钒酸铋双层同质结光电极的合成方案



能源和环境

纳米技术与新材料

节能/发电/管理/储存 (电池)

机遇

光电化学 (PEC) 分解水是一种利用太阳能生产清洁氢燃料的前沿方法。钒酸铋 (BiVO_4) 因其合适的带隙、无毒和低成本而被广泛研究作为光阳极材料。然而,其固有的缺点,如导电性差、载流子扩散长度短和电荷迁移率低,导致其光电流密度远低于理论最大值,严重限制了实际应用。传统增强 BiVO_4 性能的策略涉及通过掺入钼或钨等杂原子来构建同质结。虽然这些掺杂剂可以改变电子特性,但它们也带来了显著的缺点。外来原子的引入常常会产生电荷载流子复合中心,形成非导电杂质,并可能降低材料的光稳定性。此外,使用这些昂贵的掺杂化学品增加了材料成本,额外的掺杂步骤也增加了制造工艺的复杂性和技术难度。这些因素共同阻碍了基于 BiVO_4 的光电极的规模化和广泛商业应用。因此,迫切需要开发一种构建高性能 BiVO_4 同质结的方法,以规避与杂原子掺杂相关的缺点,从而为更高效、稳定和经济的太阳能燃料生产铺平道路。

技术

本专利提出了一种创新的方法来制造 BiVO_4 光电极,其特点是构建了一个完全无需掺入任何杂原子掺杂剂的双层同质结。核心创新在于通过顺序沉积两层纯 BiVO_4 来构建同质结,但利用不同的电化学条件来调控其电子结构。制造方案包括:首先在酸性或碱性电解质中,将铋前驱体电沉积到导电基底上,然后通过热蒸发钒前驱体形成第一层 BiVO_4 。重复此过程沉积第二层 BiVO_4 ,但使用相反类型的电解质(酸性或碱性)。具体而言,当第一层在酸性电解质($\text{pH} \sim 2$)中沉积(记为 BVO_{ac}),第二层在碱性电解质($\text{pH} \sim 13$)中沉积(记为 BVO_{al})时,会形成一个高效的 $n\text{-}n^+$ 型II型同质结。关键的技术进步在于,不同的沉积环境导致薄膜具有不同浓度的氧空位。在碱性条件下形成的 BVO_{al} 层比 BVO_{ac} 层具有显著更高的氧空位密度。这些氧空位作为浅层施主,改变了两层材料的费米能级位置。当两者结合时,氧空位浓度的差异在两层 BiVO_4 的界面处产生了一个内置电场。这个内部电场极大地增强了光生电子-空穴对的分离,并促进了电荷传输,从而克服了纯 BiVO_4 固有的电荷复合问题。该方法简便易行,在环境压力和空气气氛下进行,并且可以通过调整电沉积参数精确控制薄膜的厚度和形貌,同时完全避免了与外来原子掺杂相关的成本和复杂性。

优势

- 无需昂贵且可能有害的杂原子掺杂剂(如Mo、W),降低了材料成本和制造复杂性。
- 通过氧空位工程产生内置电场,显著提高电荷分离效率并减少复合。
- 在 1.23 V vs. RHE 下实现了 3.6 mA/cm^2 的高光电流密度,优于许多已报道的杂原子掺杂 BiVO_4 同质结,且比该方法制备的单层 BiVO_4 薄膜高三倍。

备注

IDF: 1308

IP状态

已申请专利



技术成熟度等级 (TRL) ?

3

发明人

张瑞勤教授

王海蓬博士

查询: kto@cityu.edu.hk



- 采用在环境条件下简单、可扩展的制造工艺（电沉积和热蒸发），有利于工业化生产。
- 制备出均匀、大面积的具有花状形貌的BiVO₄薄膜，防止了团聚并提供了高表面积。
- 表现出优异的光稳定性，连续运行300秒后光电流仅下降5.8%。
- 使用无毒、经济且储量丰富的原材料。

应用

- 用于太阳能分解水制氢的光电化学（PEC）电池中的光阳极。
- 氢气生产反应器和人工光合作用系统的关键组件。
- 太阳能电池及其他光驱动能量转换器件中的光吸收层。
- 用于环境修复反应（如污染物降解）的光催化剂。
- 在各种光电应用中，作为昂贵的III-V族化合物半导体或聚合物基材料的成本效益替代品。

