

2024 年度江西省自然科学奖提名项目公示



项目名称: 植酸促进阳离子掺杂改性医用轻金属涂层的构建及性能研究

提名者: 江西省教育厅

提名等级: 一等奖

提名意见: 本项目面向人民生命健康,采用微弧氧化将生物活性和抗菌性元素引入镁合金和钛合金涂层,成功制备高耐蚀性、高生物相容性及抗菌性涂层。首次揭示兼作成膜剂和螯合剂的有机植酸或植酸钠放电时参与涂层形成及促进阳离子进入涂层机制。钙离子通过扩散和电迁移进入涂层;首次发现铜同时在阳极参与涂层形成和在阴极析出。与钛合金基体相比,在仅含植酸溶液中制备的涂层表现出优异的生物相容性和促成骨性能。研究成果被包括潘复生院士、周玉院士、韩恩厚院士和伊朗 Arash Fattah-alhosseini 教授等在内的学者发表的国内外权威学术期刊正面评述。该项目满足江西省自然科学奖授奖条件,同意推荐 2024 年度江西省自然科学奖一等奖。

项目简介

本项目主要涉及材料科学学科中的生物材料表面与界面。我国骨关节炎患者数量达一亿以上。镁合金是一种革命性的可降解金属植入材料,但在体内过快的降解速度限制临床应用。钛合金是目前广泛使用的植入材料,但因生物惰性使得植入体和骨组织之间难以形成牢固的骨性键合。另外,镁合金和钛合金均不具有抗菌性。植入物相关感染给患者带来了严重的健康威胁和沉重的经济负担。本项目面向人民生命健康,兼顾涂层性能和溶液的环保性。根据仿生学原理,成功制备阳离子掺杂的高耐蚀性、优异生物相容性及抗菌性涂层,并研究阳离子进入涂层机制及改善性能规律。科学发现如下:

(1) 首次提出用天然有机物植酸或植酸钠兼作成膜剂和螯合剂,发现它们因具有螯合作用能促进阳离子进入涂层,同时又在火花放电产生的瞬时高温作用下,从一种天然抗营养物降解为具有生理活性的低磷酸肌醇和参与成膜的无机磷酸。

(2) 创新性采用中性溶液在镁合金表面制备钙磷盐涂层。发现与磷酸相比,植酸更能促进钙离子进入氧化膜,并有效提高膜层耐蚀性。无论是在中性还是在碱性溶液中,钙离子主要通过扩散进入氧化膜中,电迁移起次要作用。

(3) 采用正交试验,发现扩散比电迁移更有效促进钙离子进入钛合金涂层,而螯合剂 EDTA-Na₂ 所起作用不大。首次发现在微弧氧化过程中,铜离子在阳极参与氧化膜形成,并分别在阳极和阴极还原成一价铜和金属铜。

(4) 发现在仅含植酸溶液中制备的氧化样品比钛合金基体在 MC3T3-E1 前成骨细胞表现出更优异的活力、粘附、增殖和分化特性,表明处理后的钛合金具有更优异的生物相容性和促成骨性能,更适合作为骨科植入物。

2016.01-2020.05 期间,申报团队分别将钙、镁、铁、硒、铜和锌以及钙和镁、铜和锌两种元素引入镁合金和钛合金涂层。发表 SCI 论文 35 篇,4 项国家发明专利获授权,五篇代表性论文均为材料类领域 TOP 期刊。研究成果被包括潘复生院士、周玉院士、韩恩厚院士以及伊朗 Arash Fattah-alhosseini 教授等在内的学者正面评述和引用。五篇代表性论文被包括 Bioactive Materials (IF=18.2)(1 次), Journal of Magnesium and Alloys (IF=15.8)(6 次), Journal of Materials Science & Technology (IF=11.2)(3 次) 等在内的 SCI 期刊正面引用。

五篇代表性文章

1. Xiaoting Shi, Yu Wang, Hongyu Li, Shufang Zhang, Rongfang Zhao, Guoqiang Li, **Rongfa Zhang***, Ying Zhao. Corrosion resistance and biocompatibility of calcium-containing coatings developed in near-neutral solutions containing phytic acid and

- phosphoric acid on AZ31B alloy [J]. Journal of Alloys Compounds, 2020, 823, 153721.
2. Yuanyuan Zhu, Weidong Gao, Huade Huang, Weihui Chang, Shufang Zhang, **Rongfa Zhang***, **Rongfang Zhao***, Yijia Zhang. Investigation of corrosion resistance and formation mechanism of calcium-containing coatings on AZ31B magnesium alloy [J]. Applied Surface Science, 2019, 487:581-592.
3. L.P. Qiao, J.Lou, S.F. Zhang, B.Qu, W.H. Chang, **R.F. Zhang***. The entrance mechanism of calcium and phosphorus elements into micro arc oxidation coatings developed on Ti6Al4V alloy [J]. Surface and Coatings Technology, 2016, 285(1): 187-196.
4. Guoqiang Li, Yaping Wang, Liping Qiao, Rongfang Zhao, Shufang Zhang, **Rongfa Zhang***, **Ying Zhao***. Preparation and formation mechanism of copper incorporated micro-arc oxidation coatings developed on Ti-6Al-4V alloys [J]. Surface and Coatings Technology, 2019, 375: 74-85.
5. Yaping Wang, Jin Lou, Lilan Zeng, Junhuai Xiang, Shufang Zhang, **Ying Zhao***, **Rongfa Zhang***. Osteogenic potential of a novel microarc oxidized coating formed on Ti6Al4V alloys [J]. Applied Surface Science, 2017, 412: 29-36.

成果完成人

排名	姓名	职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
1	张荣发	教授	江西科技师范大学	江西科技师范大学	本项目提出者和总负责人，提出了研究总体思路的构架，对各发现点均做出突出贡献。是 1、3 代表性论文的独立通讯作者，是 2、4、5 代表性论文的共同通讯作者。
2	赵颖	研究员	中国科学院深圳先进技术研究院	中国科学院深圳先进技术研究院	本项目重要参加人，代表性论文 4、5 的共同通讯作者和代表性论文 1 的主要作者，为项目总体思路的确定和体外生物相容性检测及机制分析作出重要贡献。
3	赵融芳	教授	江西科技师范大学	江西科技师范大学	本项目主要参加人，代表性论文 2 的共同通讯作者和代表性论文 1 和 4 的主要作者，为项目总体思路的确定和实验作出重要贡献。
4	张淑芳	副教授	江西科技师范大学	江西科技师范大学	本项目主要参加人，代表性论文 1-5 的主要作者，为项目总体思路的确定和实验作出重要贡献。
5	向军淮	教授	江西科技师范大学	江西科技师范大学	本项目主要参加人，代表性论文 5 的主要作者，对科学发现点 3 的具体研究方案提出了理论指导。

完成单位简介

排名	单位名称	对本项目贡献
1	江西科技师范大学	在本项目的研究过程中，提供技术、经费、设备、场地和人员等条件，对项目的研究起到重要的组织、管理和协调作用。
2	中国科学院深圳先进技术研究院	为本项目微弧氧化样品生物相容性和抗菌性测试提供技术支持、经费和测试条件。