

安徽省科学技术奖提名项目公示内容

(自然科学奖, 2024 年度)

一、项目名称

原子精准的超小金属纳米粒子性能和结构的新发现

二、提名者及提名意见

提名者: 中国科学院合肥物质科学研究院

提名意见: (600 字以内)

“量子尺寸效应”是纳米技术的核心原理。为从原子结构层面深入理解这一原理并开发革新性的实用材料, 项目组聚焦于原子精准纳米粒子(团簇)研究, 已取得阶段性进展, 在国际上引领了该方向的发展, 获得主要科学发现如下:

(1) 发现“反伽伐尼还原”现象。“伽伐尼还原”是一个距今有 240 多年历史的经典理论, 完成人发现了与“伽伐尼还原”形式相反的现象, 引入了一种不可替代的材料调控新方式, 为抗氧化、传感等应用需求提供了新策略;

(2) 发现了一种临界尺寸附近金属纳米粒子的多层核-壳结构, 解决了本领域一个难题, 为理解其性能和开展临界尺寸研究提供了结构模型, 为相对较大纳米粒子的结构研究提供了指导和借鉴, 推动了金属纳米粒子临界尺寸的研究。

(3) 发现了超小金属纳米粒子结构的多样性, 为构效关系研究提供了理想模型, 促进了超小金属纳米粒子构效关系研究, 为其性能调控指明了方向。

这些重要发现促成了新概念、新理论的提出, 加深了对“尺寸效应”和“结构效应”的理解, 为金属纳米粒子的精准合成和调控提供了新的思路和策略, 开拓了新的研究方向和应用领域, 对金属材料、结构化学、团簇科学等多个学科的发展具有重要意义, 获得专家学者的高度评价, 有关发现被认为“开启了一个新的‘反伽伐尼反应’时代”或属于“原子精确金属纳米团簇领域的关键里程碑”; 等等。项目的实施, 还培养了创新人才, 有力推动了平台和学科的建设。

同意提名该项目作为 2024 年安徽省自然科学奖候选项目。

三、项目简介

“量子尺寸效应”作为纳米技术的核心原理,其研究深度直接决定了下一代电子器件、新能源等技术的突破方向。金属纳米粒子是研究历史最长、研究最为广泛的纳米材料。然而,传统的纳米粒子难以获得原子精准的结构和原子层次单分散性,严重阻碍了“量子尺寸效应”的深入、精准研究。近年来,随着合成和表征技术的提高,在超小纳米尺度范围(亚纳米至约3纳米),金属纳米粒子(团簇)的精准化已成为可能,随之而来的重要科学问题是“这些原子精准的超小金属纳米粒子会带来什么性能和结构(特征)的新发现?”。完成人围绕这一关键科学问题开展了研究,取得以下重要科学发现:

(1) 发现了与经典的“伽伐尼还原”形式相反的“反伽伐尼还原”现象

完成人发现了与有240多年历史的“伽伐尼还原”形式相反的“反伽伐尼还原”现象,随后引入“反伽伐尼还原”对金属纳米粒子(团簇)组成结构和性能进行调控,并将这一原理应用于传感等方面。这一发现不仅是理论上的重要突破,而且为材料调控提供了不可替代的新方式,为传感、抗氧化等应用需求提供了新的策略,推动了金属纳米粒子(团簇)研究和应用的开展。

(2) 发现了一种临界尺寸附近金属纳米粒子的多层核-壳结构

Au_{144} 纳米粒子的尺寸接近从分子态向金属态转变的临界尺寸,自1996年报道以来,吸引了包括诺贝尔奖获得者 Kornberg 教授在内的众多科研人员的兴趣,但其结构一直没有得到解析。完成人通过获得高质量的单晶,解析结构,发现了其多层核-壳结构,为临界尺寸等方面的研究提供了结构模型,为相对较大纳米粒子的结构研究提供了指导或借鉴,促进了金属纳米粒子临界尺寸的研究。

(3) 发现了超小金属纳米粒子结构的多样性

在前期结构研究基础上,完成人通过精细调控反应条件,获得了两个金属纳米团簇构造异构体,并揭示了它们在催化性能上的显著差异。此外,在金属纳米粒子的组装结构中,也发现了多种排列方式,如发现了未曾报道的6HLH排列,这是自第三种最密晶相排列发现后时隔38年后发现的一种新的最密晶相排列。这些工作表明超小纳米尺度下原子排列方式的多样性,为金属纳米粒子(团簇)性能的调控指明了方向,加深了金属纳米粒子构效关系的研究。

这些重要发现为金属纳米粒子的精准合成和调控提供了新的思路和策略,加深了对“尺寸效应”和“结构效应”的理解,开拓了新的研究方向和应用领域,获得国内外专家学者的广泛关注和高度认可,如李亚栋院士在代表作1发表后,就立即指出“‘反伽伐尼还原’提供了一种制备纳米合金的方便而强有力的方式”;世界top100化学家之一的Didier Astruc院士认为科学发现1“开启了一个新的‘反伽伐尼反应’时代”;国际著名理论化学家 Hannu Häkkinen 教授认为科学发现2属于“原子精确金属纳米团簇领域的关键里程碑”;马德拉斯印度理工学院的 Thalppil Pradeep 教授认为科学发现3“将提供设计独特功能材料的新启示”;等等。五篇代表作已被SCI他引763次。此外,本项目还培养了优秀人才,有力推动了平台和学科建设,也为地方科技发展做出了重要贡献。

四、代表性论文专著目录

序号	论文（专著） 名称/刊名 /作者	年卷页 码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时 间年月 日	通讯 作者 (含 共 同)	第一作 者(含 共 同)	国内作者	论文 署名 单位 是否 包含 国外 单位
1	Anti-Galvanic Reduction of Thiolate- Protected Gold and Silver Nanoparticles / Angewandte Chemie- International Edition / Wu, Z. K.*	2012, 51, 2934.	2012 年 3 月 19 日	伍志 鲲	伍志 鲲	伍志鲲	否
2	Unraveling the long-pursued Au ₁₄₄ structure by x-ray crystallography/ Science Advances/ Yan, N.; Xia, N.; Liao, L.W.; Zhu, M. ; Jin, F. M. ; Jin, R. C. *; Wu, Z. K.*	2018, 4, eaat72 59	2018 年 10 月 1 日	金荣 超; 伍志 鲲	闫楠	闫楠; 夏楠; 廖玲 文; 祝 敏; 金 凤鸣; 伍志鲲	是

3	Structural isomerism in gold nanoparticles revealed by X-ray crystallography/ Nature Communications/Tian, S. B.; Li, Y. Z. ; Li, M. B. ; Yuan, J. Y. ; Yang, J. L. ; Wu, Z. K.* ; Jin, R. C.*	2015, 6, 8667	2015年10月1日	伍志鲲；金荣超	田书博	田书博；李一志；李漫波；袁金云；杨金龙；伍志鲲	是
4	The fourth crystallographic closest packing unveiled in the gold nanocluster crystal/Nature Communications/Gan, Z. B. ; Chen, J. S. ; Wang, J ; Wang, C. M. ; Li, M. B.; Yao, C. H. ; Zhuang, S. L.; Xu, A; Li, L. L.; Wu, Z. K.*	2017, 8, 14739	2017年3月24日	伍志鲲	甘自保；陈积世	甘自保；陈积世；王娟；王成名；李漫波；姚传好；庄胜利；许安；黎玲玲；伍志鲲	否

5	Improving the Catalytic Activity of Au-25 Nanocluster by Peeling and Doping / Chinese Journal of Chemistry / Li, M.-B.; Tian, S.-K.; Wu, Z. K.*	2017, 35, 567.	2017年5月22日	伍志鯤	李漫波	李漫波, 田仕凯, 伍志鯤	否
---	---	----------------	------------	-----	-----	---------------	---

五、主要完成人（按完成人顺序排列）

伍志鯤、闫楠、田书博、李漫波、廖玲文

六、主要完成单位（按完成单位顺序排列）

中国科学院合肥物质科学研究院

七、论证专家

姓名	工作单位	职称	专业领域
孟国文	中国科学院合肥物质科学研究院	研究员	材料科学
张忠平	安徽大学	教授	材料科学
吴长征	中国科学技术大学	教授	无机化学
张海民	中国科学院合肥物质科学研究院	研究员	材料科学
许俊	合肥工业大学	教授	材料物理