

## 2023 年度云南省自然科学奖提名项目公示信息

项目名称	低维银/铜纳米材料的可控制备及应用研究			
主要完成单位	昆明贵金属研究所、贵研铂业股份有限公司			
提名者	云南省贵金属新材料控股集团有限公司			
提名等级	云南省自然科学二等奖			
项目主要完成人	杨宏伟、李郁秀、王川、陈家林、陈力、巢云秀			
<b>主要完成人基本情况</b>				
序号	姓名	所在单位	职称	职务
1	杨宏伟	昆明贵金属研究所	研究员	研究室负责人
2	李郁秀	贵研铂业股份有限公司	工程师	无
3	王 川	贵研铂业股份有限公司	高级工程师	无
4	陈家林	昆明贵金属研究所	正高级工程师	无
5	陈 力	昆明贵金属研究所	正高级工程师	副所长
6	巢云秀	昆明贵金属研究所	工程师	无

### 项目简介

本项目针对围绕国家对电子信息行业用纳米导电材料的迫切需要，在国家自然科学基金、云南省应用基础研究和云南省重点研发计划等项目的资助下，开展了低维银/铜纳米材料液相化学合成的制备科学、组织结构、及相关性能研究。

主要科学发现点如下：

(1) 发现氯化钠的添加可促使氯化银晶粒在溶液中的原位生成，从而在动力学上减缓银离子的释放及还原速率，帮助银五重孪晶的形成、稳定与生长；与此同时，高分子量聚乙烯吡咯烷酮中的酰胺基可选择性吸附在 Ag {100} 晶面上，二者协同作用最终促进了线长 100-160  $\mu\text{m}$  的超长银纳米线的形成；发现添加氯化钠和溴化钾作为双助剂时，一方面有利于细小的溴化银晶粒的原位生成，进而促进更小尺寸的银五重孪晶在其表面的原位形成；另一方面，其中的一部分溴离子在反应溶液中可选择性地强吸附到 Ag {100} 晶面上，抑制该晶面的生长，进而阻碍银纳米线的横向生长；最终促使平均线径仅为 20 nm，长径比高达 2000 的高品质银纳米线的形成。

(2) 在国际上首次采用有机卤化物四丁基二溴氯盐作为助剂，发现相比传统的无机卤化物，四丁基二溴氯盐的添加有助于生成尺寸更为细小的 AgClBr<sub>2</sub> 晶种，从而促进超细银五重孪

晶的形成与生长，最终合成的银纳米线平均线径可达 15 nm。采用原位透射电子显微镜拉伸试验系统研究了线径为 50-300 nm 的银纳米线的机械性能，发现随着银纳米线线径的逐渐增大，其极限抗拉应力逐渐变小，而且在银纳米线直径约 100 nm 时观察到断裂行为由脆性向延性转变，这可以归因于位错在几何限制内的活动。

(3) 发现由于溴离子相比氯离子在 Cu {111} 晶面上的吸附强度要高，因此，采用氯化铜作为铜源时，反应更倾向于形成一维的铜纳米线；而采用溴化铜作为铜源时，反应趋于形成二维的铜微纳米片。

以上基础理论研究成果为研究开发铜粉、银包覆铜粉、银纳米线及其透明导电油墨等材料提供了制备科学及理论基础支撑。研究成果发表学术论文 18 篇，其中 SCI 收录 14 篇 (JCR Q2 区)，中文核心期刊收录 4 篇，累计影响因子约 60，SCI 他引 144 次，该项目申请已获授权中国发明专利 1 件，获得云南省科研机构联合会优秀论文奖 2 项，中国有色金属优秀科技论文奖 1 项。基于项目理论研究结果基础上开发出的银纳米线分散液、银纳米线透明导电油墨等材料成功在电容式触控薄膜开关、自贴式发光窗膜等高技术领域获得应用。

### 代表性论文 (专著) 情况

序号	论文专著名称/刊名/作者	影响因子	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	第一作者	SCI 他引次数
1	Morphology-controlled silver nanowire synthesis using a cocamidopropyl betaine-based polyol process for flexible and stretchable electronics/RSC Advance/Yuxiu Li, Yao Li, Zhengyang Fan, Hongwei Yang*, Ximin Yuan and Chuan Wang*	4.036	2020, 10, 21369-21374	Yuxiu Li	7
2	Ascorbic Acid-Assisted One-Step Chemical Reaction To Design an Ultralong Silver Nanowire Structure for a Highly Transparent Flexible Conducting Film/ACS Omega/Yuxiu Li, Yao Li, Zhengyang Fan, Hongwei Yang*, Ximin Yuan, and Chuan Wang*	4.132	2020, 5, 18458-18464	Yuxiu Li	3
3	Bromine anion-induced synthesis of copper nanoplates and their recyclable catalytic activity towards 4-nitrophenol reduction/CrystEngComm/Yao Li,	3.756	2020, 22, 7786-7789	Yao Li	4

	Zhengyang Fan, Hongwei Yang*, Ximin Yuan, Yunxiu Chao, Yuxiu Li and Chuan Wang*				
4	Dodecylamine-mediated synthesis and growth mechanism of copper nanowires with an aspect ratio of over 10000/Materials Letters/Yao Li, Zhengyang Fan, Ximin Yuan, Hongwei Yang*, Yuxiu Li, Chuan Wang*	3.574	2020, 274 (2020), 128029-128033	Yao Li	5
5	Synthesis of Silver Nanowires by Using Tetrabutyl Ammonium Dibromochloride as the Auxiliary for Low-Haze Flexible Transparent Conductive Films/Langmuir/Ximin Yuan, Hongwei Yang*, Yuxiu Li, Yao Li, Yunxiu Chao, Jialin Chen, and Li Chen	4.331	2019, 35, 11829–11835	Ximin Yuan	7
6	One-Step Synthesis of Silver Nanowires with Ultra-Long Length and Thin Diameter to Make Flexible Transparent Conductive Films/materials/Yuxiu Li, Ximin Yuan, Hongwei Yang*, Yunxiu Chao, Shuailong Guo and Chuan Wang	3.748	2019, 12, 401-411	Yuxiu Li	22
7	A novel synthesis of silver nanowires by using 6-chlorohexylzinc bromide as an additive for low haze transparent conductive films/RSC Advance/Ximin Yuan, Hongwei Yang*, Yuxiu Li, Yunxiu Chao, Yao Li, Li Chen and Jialin Chen	4.036	2019, 9, 18868–18873	Ximin Yuan	5
8	One-step synthesis of ultra-long silver nanowires of over 100 nm and their application in flexible transparent conductive films/RSC Advance/Yuxiu Li, Shuailong Guo, Hongwei Yang*, Yunxiu Chao, Shaozhuang Jiang and Chuan Wang*	4.036	2018, 8, 8057–8063	Yuxiu Li	47