

锡酸锌纳米粉体的制备及其在电接触材料中的应用

叶晨琳¹, 张玲洁^{1,2}, 沈涛², 穆成法³, 杨辉^{1,2}, 陈晓³, 樊先平¹

(1. 浙江大学 材料科学与工程学院, 浙江 杭州 310027)

(2. 浙江大学 浙江加州国际纳米技术研究院, 浙江 杭州 310058)

(3. 温州宏丰电工合金股份有限公司, 浙江 温州 325603)

摘要: 以不同的锌源, 锡源与沉淀剂为原料, 采用化学共沉淀法成功合成了具有尖晶石结构的高纯度立方锡酸锌纳米粉体。采用机械合金化和粉末冶金技术制备 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料。探究了煅烧温度、锌源种类和沉淀剂类型等工艺参数对 Zn₂SnO₄ 粉体的微观结构和 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料性能的影响规律。采用场发射扫描电子显微镜和 X 射线电子衍射仪表征锡酸锌粉体的形貌和物相, 并测试 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料的电阻率, 硬度与密度等物理性能。结果表明: 以五水四氯化锡, 氯化锌与碳酸钠为原料, 于 1000 °C 条件下煅烧 3 h 合成的 Zn₂SnO₄ 增强 Ag 基电接触材料可达到最佳电阻率 2.31 μΩ·cm, 此时材料相应的密度和维氏硬度分别为 9.51 g/cm³ 和 656.3 MPa。相比于传统的 Ag/SnO₂ 与 Ag/ZnO 电接触材料, Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料在电学性能和致密度上具有明显优势; 由 Ag/Zn₂SnO₄ 材料的断口组织分析可知, Ag 相与 Zn₂SnO₄ 增强相颗粒间结合良好。

关键词: Ag/Zn₂SnO₄; 电接触材料; 电学性能; 化学共沉淀

中图分类号: TG383

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2020)04-1288-07

银基导电合金可应用于电接触材料, 它是电子器件的核心部分, 其机械性能和电性能的优劣直接影响着电机、仪表、电路和电器的可靠性、稳定性、服役寿命^[1-3]。这需要银基电接触材料拥有良好的导电性、导热性、加工性能及耐侵蚀、抗熔焊的特性。

使用无机金属氧化物作为银基电接触材料的增强相, 能够显著提高其硬度、抗熔焊性和抗电弧侵蚀能力^[4,5]。如目前广泛研究和应用的 Ag/SnO₂ 电接触材料环保无毒, 具有优良的耐磨性、抗熔焊性及耐电弧侵蚀性能^[6,7]。然而 Ag/SnO₂ 材料在服役过程中存在接触电阻不断增大、温升过高等问题, 严重影响了电器开关电寿命和可靠性^[8-11]。主要原因是氧化锡会降低银基体的导电和导热性能, SnO₂ 多为四方结构, 与银的晶格匹配性差, 润湿性差, 导致银与 SnO₂ 两相之间的界面结合力弱。因此, 需要开发导电导热性能优良的增强相体系来改善银基电接触材料的性能。

锡酸锌(Zn₂SnO₄)是一种宽带隙 n 型半导体材料^[12], 自 1953 年被首次合成并确定了反尖晶石结构以来, 引起了较多的关注, 被应用于锂电池负极材料、光催化、气敏材料、阻燃剂等各种领域^[13-18]。同二元氧化物相比, 锡酸锌有着更高的稳定性和电子迁移率^[19]。并且

锡酸锌与银同属面心立方结构, 因此结构匹配性好, 理论上与银的结合性可优于 SnO₂ 材料。另外, 锡酸锌熔点、硬度高, 材料体系环保无毒且制造成本较低廉, 可降低复合材料的成本, 在电接触领域具有较好的应用前景。

本研究采用化学共沉淀法, 重点考察前驱体煅烧温度、锌源及沉淀剂种类等工艺条件对粉体微观形貌及物相组成的影响规律。采用机械合金化和粉末冶金技术制备得到 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料, 并探究锡酸锌微结构和烧结温度对电接触材料性能的影响。采用场发射扫描电子显微镜与 X 射线衍射仪对锡酸锌粉体的形貌及物相进行表征, 并对 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料的电阻率、硬度、密度等性能进行了测试分析。

1 实验

以 SnCl₄·5H₂O 和 ZnAc₂·2H₂O、ZnSO₄·7H₂O、ZnCl₂ 分别为锡源与锌源, 按照 $n(\text{Sn}):n(\text{Zn})=1:2$ 的摩尔比称取相应的原料, 混合后溶解于少量去离子水中形成均一溶液。向上述溶液中滴加浓度 2 mol/L 的沉淀剂, 沉淀剂类型为 NaOH、NaHCO₃ 与 Na₂CO₃ 溶液。随着滴加量的增加, 溶液中逐渐产生白色沉淀。调节溶液

收稿日期: 2019-05-04

基金项目: 国家自然科学基金(51801180); 浙江省重点研发计划(2017C01051)

作者简介: 叶晨琳, 女, 1994 年生, 硕士, 浙江大学材料科学与工程学院, 浙江 杭州 310027, 电话: 0571-88206798, E-mail: yecl170@126.com

pH 至 12 左右停止滴加沉淀剂, 继续搅拌反应 2 h。随后将得到的白色沉淀物采用去离子水与乙醇离心洗涤 3 次, 除去其中的杂质离子后, 置于鼓风干燥箱中 80 °C 烘干 8 h。烘干后的前驱体粉体经研磨后导入坩埚并置于箱式电炉中在不同煅烧温度条件下煅烧 3 h, 最终得到纯相的锡酸锌纳米粉体。

以实验合成的锡酸锌纳米粉体为增强相与纯银粉按质量比 12:88 进行混合, 以乙醇为介质混合球磨 1 h。混合粉体用电动粉末压片机在 1200 MPa 成型压力下压制 30 s, 得到直径 11 mm 的薄圆片。圆片置于箱式电炉中, 在空气气氛下 600 °C 烧结 3 h, 再升温至 880 °C 烧结 6 h, 得到 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料。

随后将烧结后的圆片在 800 MPa、300 °C 条件下热压 3 min, 并置于箱式电炉中 650 °C 热处理 3 h, 得到复压复烧工艺处理后的 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料。

采用荷兰 PAN 型 X 射线衍射仪检测锡酸锌纳米粉体的物相结构, IGMA 场发射扫描电镜和 SU8010 场发射扫描电镜观察锡酸锌纳米粉体的微观形貌。

采用 D60K 数字金属电导率测量仪测量 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料的电导率; 采用 HVS-1000 型数显显微硬度计测量材料的维氏硬度; 采用阿基米德排水法测定 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料的密度; 采用蔡司金相显微镜 Axio Scope A1 观察接触材料的金相组织。

2 结果与讨论

2.1 锡酸锌粉体微观结构与物相分析

2.1.1 煅烧温度对锡酸锌粉体微观结构与物相的影响

以 ZnAc₂·2H₂O 为锌源, NaOH 为沉淀剂, 在不同煅烧温度下对所得前驱体粉体进行热处理。图 1 所示为不同煅烧温度下锡酸锌粉体的 XRD 图谱。XRD 图谱中的三强峰分别对应为 (311) (440) 和 (511) 晶面, 粉体为 Fd-3m 空间群的反尖晶石结构 Zn₂SnO₄。煅烧温度达到 700 °C 时, 前驱体粉体开始生成锡酸锌, 随着煅烧温度的升高, 相应的峰强增加, 粉体结晶度进一步提升。

从图 2a~2e 的 SEM 照片中可以看出, 当煅烧温度

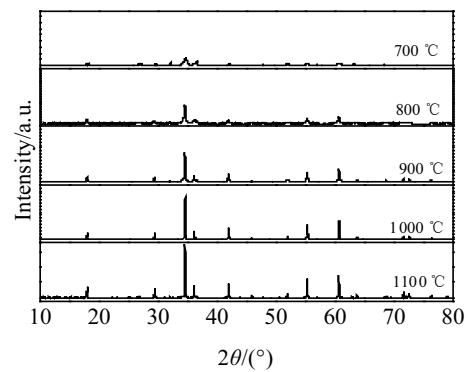


图 1 不同煅烧温度下锡酸锌粉体的 XRD 图谱

Fig.1 XRD patterns of Zn₂SnO₄ powder with different calcination temperatures

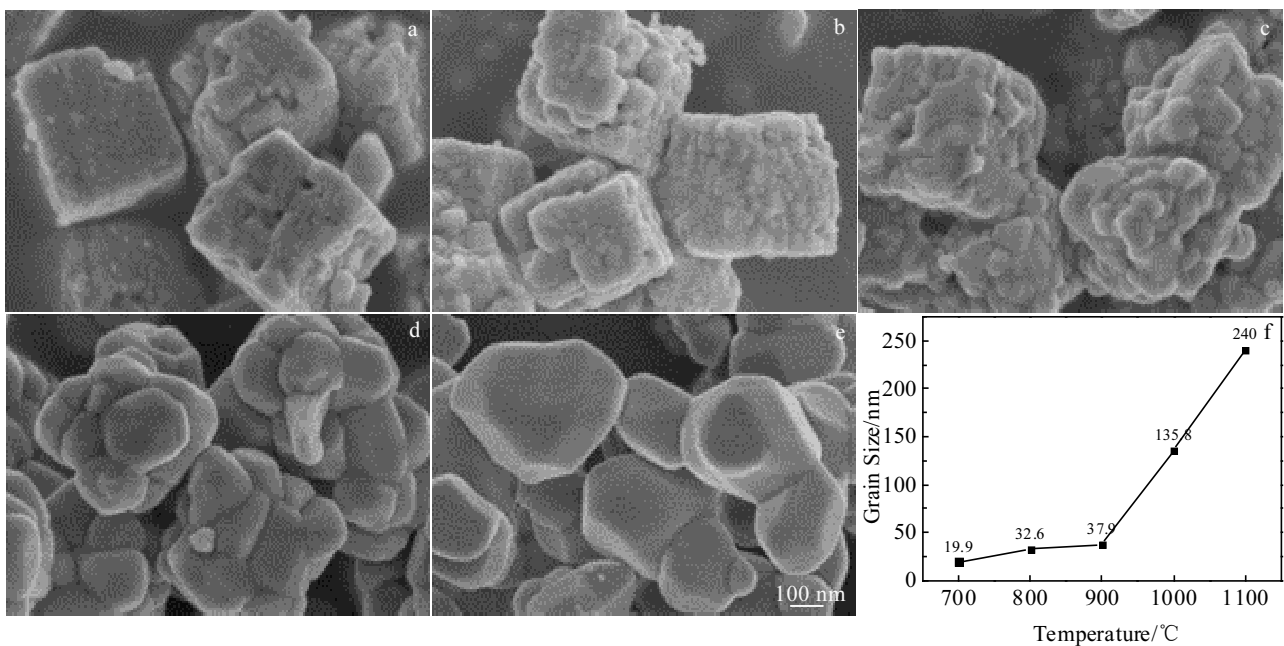


图 2 不同煅烧温度下锡酸锌粉体的 SEM 图像和晶粒尺寸

Fig.2 SEM images (a~e) and grain size (f) of Zn₂SnO₄ powder with different calcination temperatures:

(a) 700 °C, (b) 800 °C, (c) 900 °C, (d) 1000 °C, and (e) 1100 °C

为 700 °C 时, Zn_2SnO_4 粉体主要由小颗粒堆积而成的边长 1 μm 左右的正方体构成, 而且随着煅烧温度升高, 晶粒长大, 表面逐渐光滑, 形成不规则的烧结体。根据 XRD 结果, 使用谢尔公式计算粉体的理论晶粒尺寸, 结果如图 2f 所示。 Zn_2SnO_4 粉体的晶粒尺寸随着煅烧温度从 700 °C 增加至 900 °C 时呈缓慢增大趋势, 但当煅烧温度高于 900 °C 时, 粉体的晶粒尺寸显著增加。

2.1.2 锌源类型对锡酸锌粉体微观结构与物相的影响

图 3 为 3 种锌源所得锡酸锌粉体 SEM 照片和 XRD 图谱。不同锌源制备所得粉体均为方块状颗粒, 但具有不同的酸根离子的锌源对 Zn_2SnO_4 粉体的晶粒尺寸影响较为明显。由图 3 可知, 不同锌源下 Zn_2SnO_4 粉体的晶粒尺寸大小比较: $ZnAc_2 \cdot 2H_2O < ZnCl_2 < ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 。

2.1.3 沉淀剂类型对锡酸锌粉体微观结构和物相的影响

图 4 为不同沉淀剂类型下制得的锡酸锌粉体的 SEM 照片及 XRD 图谱。以 NaOH 沉淀剂合成的 Zn_2SnO_4 粉体颗粒形貌呈方块状, 但以 Na_2CO_3 和 $NaHCO_3$ 作为沉淀剂得到的是细小的 Zn_2SnO_4 纳米棒和纳米颗粒, 这可能归因于反应时生成的 CO_2 气体影响了粉体颗粒的形核长大过程。

2.2 Ag/Zn_2SnO_4 电接触材料性能分析

2.2.1 锡酸锌粉体的形貌和结构对 Ag/Zn_2SnO_4 电接触材料性能的影响

以上述不同煅烧温度处理后的 Zn_2SnO_4 粉体为增强相制得的 Ag/Zn_2SnO_4 电接触材料进行了电阻率、硬度及密度等物理性能测试分析。由图 5 可知, Ag/Zn_2SnO_4 电接触材料在粉体煅烧温度 1000 °C 时的电阻率最低, 同时硬度和密度亦最高。在低于 1000 °C 时, 锡酸锌的结晶程度还不高, 堆积成方块状。 Zn_2SnO_4 粉体在 1000 °C 处理条件晶粒生长完整且未发生严重长大现象, 因此是最合适的煅烧温度。伴随着煅烧温度进一步增加, 晶粒将继续长大, 这虽然能够降低电阻率, 但材料的硬度和密度会受到影响。 Ag/Zn_2SnO_4 电接触材料经烧结处理后电阻率与硬度值呈下降趋势, 但其密度有所提升。

以不同锌源合成的 Zn_2SnO_4 粉体为增强相制得的 Ag/Zn_2SnO_4 电接触材料亦进行了物理性能测试分析, 结果如图 6 所示。其中, 以 $ZnCl_2$ 为锌源合成的 Zn_2SnO_4 粉体为增强相制得的 Ag/Zn_2SnO_4 电接触材料具有最低的电阻率、最高的密度, 表现出最佳的综合物理性能。

以 3 种不同沉淀剂类型合成的 Zn_2SnO_4 粉体为增强相制得的 Ag/Zn_2SnO_4 电接触材料于 880 °C 下烧结处理, 性能测试结果如图 7 所示。三者电阻率和硬度上的性能相似, 但以 Na_2CO_3 为沉淀剂合成的 Zn_2SnO_4 粉体增强银基电接触材料表现为最优的密度

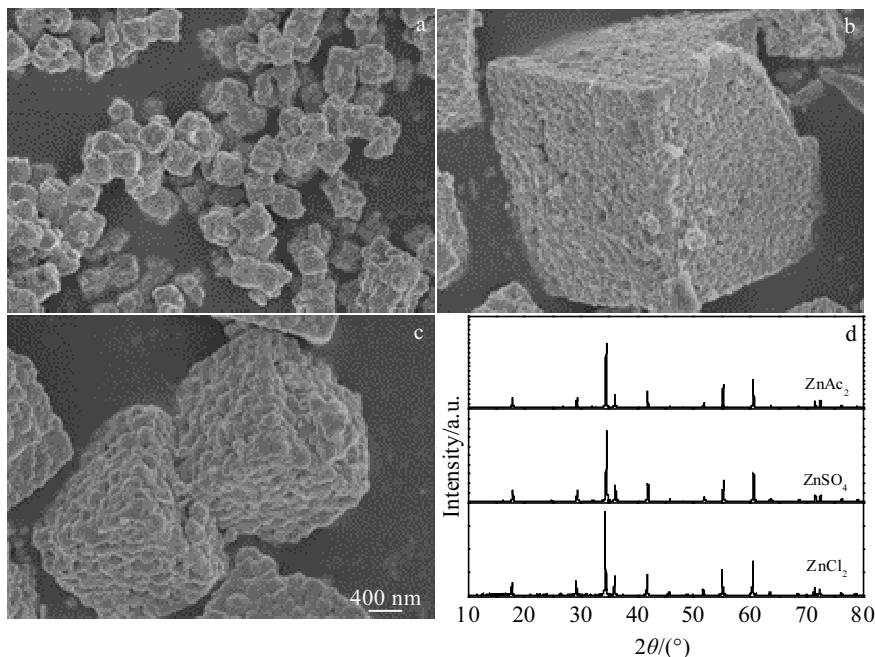


图 3 不同锌源制备所得锡酸锌粉体的 SEM 照片和 XRD 图谱

Fig.3 SEM images (a~c) and XRD patterns (d) of Zn_2SnO_4 powder with different zinc sources: (a) $ZnAc_2 \cdot 2H_2O$, (b) $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, and (c) $ZnCl_2$

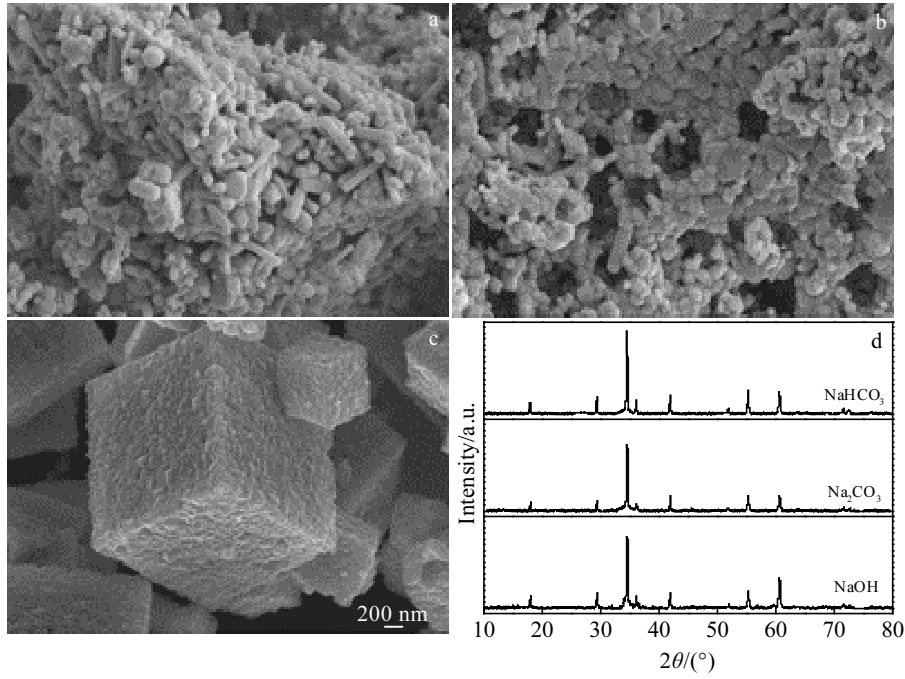


图 4 不同沉淀剂制得锡酸锌粉体的 SEM 照片和 XRD 图谱

Fig.4 SEM images (a~c) and XRD patterns (d) of Zn₂SnO₄ powder with different precipitants: (a) NaHCO₃, (b) Na₂CO₃, and (c) NaOH

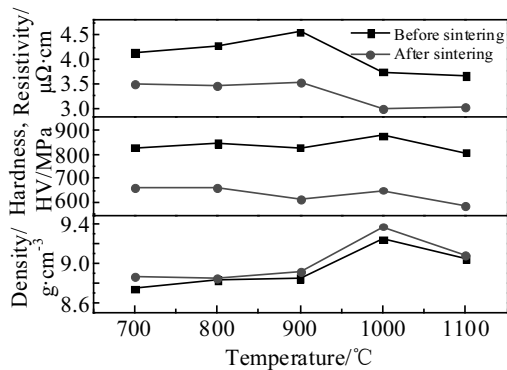


图 5 不同煅烧温度处理 Zn₂SnO₄ 粉体增强 Ag 基电接触材料性能

Fig.5 Properties of Ag-based electrical contact materials enhanced by Zn₂SnO₄ powders with different calcination temperatures

性能。结合图 4 可知，当 Zn₂SnO₄ 粉体的颗粒尺寸较小时，Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料的密度呈上升趋势，而电阻率则呈下降趋势。

2.2.2 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料的复压复烧

为进一步提高 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料的物理性能，选择以氯化锌和氯化锡为原料，碳酸钠为沉淀剂，前驱体在 1000 °C 下煅烧 3 h 后获得的 Zn₂SnO₄ 粉体为增强相。采用机械合金化与粉末冶金制备了相应的

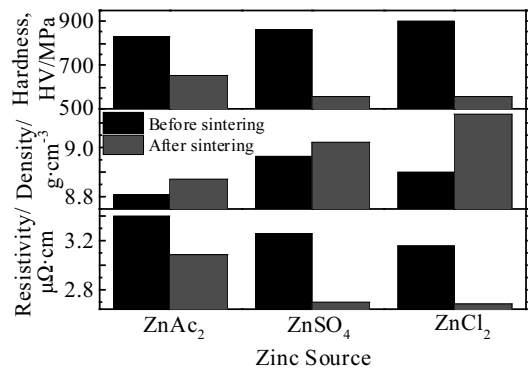


图 6 不同锌源合成的 Zn₂SnO₄ 粉体增强 Ag 基电接触材料性能
Fig.6 Properties of Ag-based electrical contact materials enhanced by Zn₂SnO₄ powders with different zinc sources

Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料，经复压复烧工艺处理后 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料的电阻率达到 2.31 μΩ·cm，如表 1 所示。

2.3 Ag/Zn₂SnO₄ 与 Ag/SnO₂、Ag/ZnO 电接触材料的性能对比

以市售纳米氧化锡（粒径约 70 nm）和实验室合成的氧化锌粉体（粒径约 100 nm）增强相作为对照组，锡酸锌粉体粒径约为 100 nm。按照 $m_{\text{增强相}}:m_{\text{Ag}} = 12:88$ 的比例制备复合粉体，并在相同条件下制备 Ag 基电

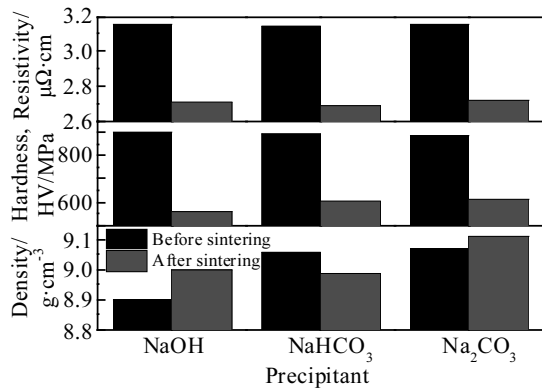


图 7 不同沉淀剂合成的 Zn₂SnO₄ 粉体增强 Ag 基电接触材料性能

Fig.7 Properties of Ag-based electrical contact materials enhanced by Zn₂SnO₄ powders with different precipitants

表 1 复压复烧工艺处理后 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料的性能
Table 1 Performance of Ag/Zn₂SnO₄ electrical contact materials with repress-resintering processing

Resistivity/μΩ·cm	Hardness, HV/MPa	Density/g·cm ⁻³
2.31	656.3	9.51

接触材料。Ag/Zn₂SnO₄、Ag/SnO₂ 以及 Ag/ZnO 电接触材料的性能如表 2 所示。

表 2 中相对密度为实测密度所占理论密度的比值。Ag 基电接触材料的理论密度^[20]由如下公式计算可

得，其中 $\rho_{\text{SnO}_2}=6.95 \text{ g/cm}^3$ ， $\rho_{\text{ZnO}}=5.61 \text{ g/cm}^3$ ， $\rho_{\text{Zn}_2\text{SnO}_4}=6.42 \text{ g/cm}^3$ ， $\rho_{\text{Ag}}=10.49 \text{ g/cm}^3$ 。

$$\rho = \frac{\rho_1 \rho_2 (m_1 + m_2)}{m_1 \rho_2 + m_2 \rho_1} \times 100\% \quad (1)$$

由表 2 可知，以锡酸锌粉体为增强相制得的 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料在电阻率性能和相对密度上要明显优于前两者，但其硬度性能仍需改善。后续可采取进一步的加工工艺来提升 Ag/Zn₂SnO₄ 电接触材料的硬度。

由图 8 断面 SEM 图像及表面金相组织分析可知，Ag/SnO₂ 电接触材料的增强相颗粒弥散程度好，纳米 SnO₂ 增强相粉体在基体中分布均匀，但在断面上存在较大的孔洞，这说明烧结过程中 Ag 与 SnO₂ 的结合力较差，在外力下易发生脱落，从而影响电接触材料的性能。由 Ag/ZnO 电接触材料的断面形貌可知，Ag 与 ZnO 结合较为紧密，亦有不少空隙存在，但从金相组织上看，增强相粉体粒径大小不均，弥散程度较差。

相比于 Ag/SnO₂、Ag/ZnO 电接触材料，Ag/Zn₂SnO₄ 断面较为平整，说明 Ag 与 Zn₂SnO₄ 的结合性能优异，

表 2 不同增强相制得的 Ag 基电接触材料的性能对比
Table 2 Performance comparison of electrical contact materials with different reinforced phases

Material	Resistivity/μΩ·cm	Hardness, HV/MPa	Theoretical density/g·cm ⁻³	Relative density/%
Ag/SnO ₂	2.62	804.0	9.89	95.40
Ag/ZnO	2.57	692.6	9.50	90.74
Ag/Zn ₂ SnO ₄	2.31	656.3	9.75	97.54

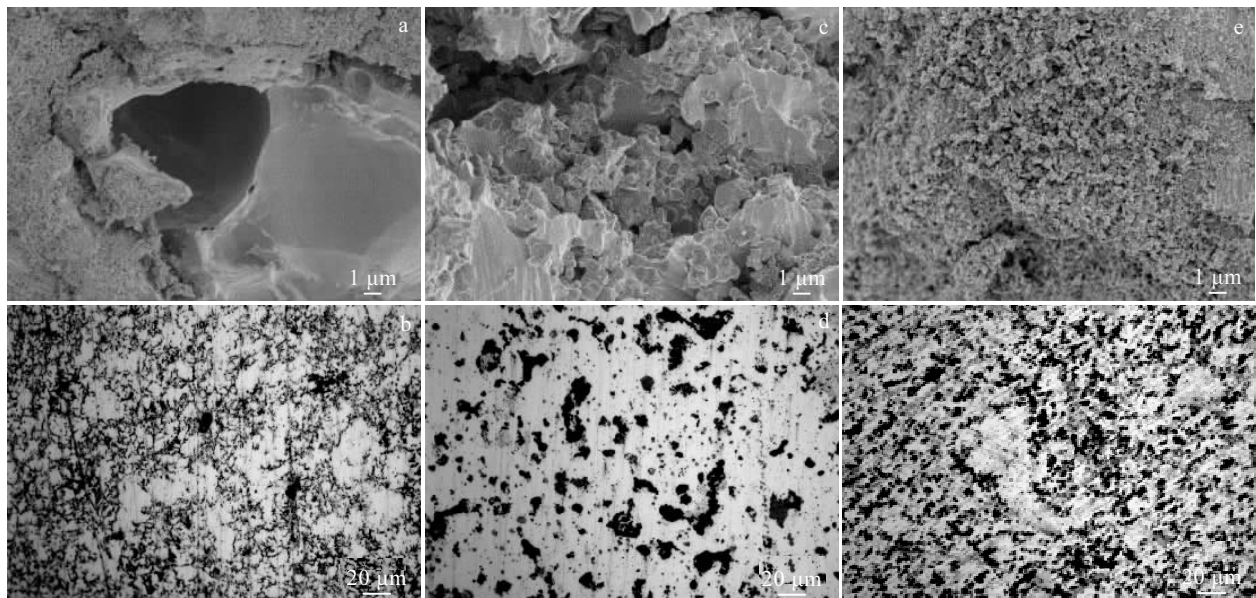


图 8 不同增强相制得的电接触材料断面 SEM 照片及表面金相组织图

Fig.8 SEM cross section images (a, c, e) and surface metallographic structure (b, d, f) of electrical contact materials with different reinforced phases: (a, b) Ag/SnO₂, (c, d) Ag/ZnO, and (e, f) Ag/Zn₂SnO₄

匹配性较好, 不易发生颗粒脱落。且 Zn_2SnO_4 粉体的粒径和分布皆较为均匀, 这可能是 Ag/Zn_2SnO_4 电接触材料具备更低电阻率和较佳致密度的原因之一。对比可知, Ag/Zn_2SnO_4 电接触材料有望替代传统 Ag/SnO_2 材料在电接触领域实现较好的应用前景。

2.4 Ag/Zn_2SnO_4 与 Ag/SnO_2 电接触元件的性能对比

分别以上述 Ag/Zn_2SnO_4 复合粉体与 Ag/SnO_2 复合粉体为原料, 经压制烧结和旋锻拉丝制备得到丝材, 测试丝材的电阻率、抗拉强度、断后延伸率等性能。再使用冷压焊复合触头自动机将 2 种丝材与铜丝一起加工成铆钉元件。将清洗、烘干后的电触头铆钉, 安装至正泰接触器 CJK2-0910 上进行 18 A 电流下的温升和电寿命对比试验, 如图 9 所示。

测试所得力学性能和电寿命服役周期结果如表 3 所示。从表格中可以看出, Ag/Zn_2SnO_4 丝材的电阻率更低, 且塑性好, 断后延伸率大, 在电学性能和力学加工性能上具有优势。而在铆钉的电寿命方面, 则是 Ag/SnO_2 铆钉服役周期长, 更具有优势。 Ag/Zn_2SnO_4 材料的电寿命服役周期低于 Ag/SnO_2 , 其可能原因在于 Ag/Zn_2SnO_4 较低的硬度值, 抗电弧作用的能力减弱, 导致相应的交流接触器在服役过程中提早失效。

测试所得温升结果如图 10 所示。 Ag/Zn_2SnO_4 铆钉的平均温升为 31.1 K, 而 Ag/SnO_2 铆钉的平均温升为 35.3 K, 因此在温升性能上, Ag/Zn_2SnO_4 铆钉的优势更佳。

对比可知, Ag/Zn_2SnO_4 电接触材料有望在电接触领域实现较好的应用。后续可进一步提升锡酸锌材料的物理性能及其与银基体的结合强度, 从而延长材料的电寿命服役周期。

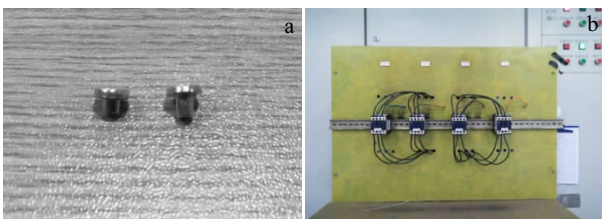


图 9 Ag/Zn_2SnO_4 电触头铆钉和交流接触器装置图

Fig.9 Ag/Zn_2SnO_4 electric contact rivet (a) and AC contactor equipment (b)

表 3 不同增强相制得的 Ag 基电接触材料的性能对比

Table 3 Performance comparison of electrical contact materials with different reinforced phases

Material	Resistivity / $\mu\Omega\cdot\text{cm}$	Tensile strength/MPa	Elongation/ %	Electrical life
Ag/SnO_2	2.61	281	6	24939
Ag/Zn_2SnO_4	2.25	201	9	10119

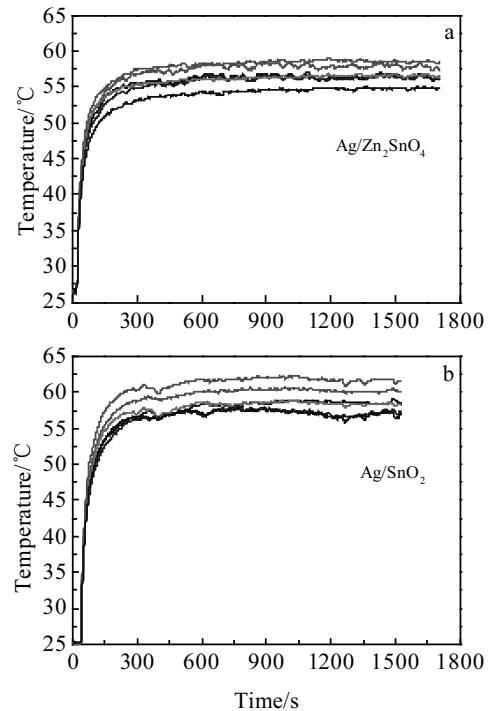


图 10 Ag/Zn_2SnO_4 铆钉和 Ag/SnO_2 铆钉的温度变化曲线

Fig.10 Temperature changes of Ag/Zn_2SnO_4 electric contact rivet (a) and Ag/SnO_2 electric contact rivet (b)

3 结 论

1) 以 $SnCl_4\cdot 5H_2O$ 作为锡源, $ZnCl_2$ 为锌源, Na_2CO_3 为沉淀剂, 在箱式电炉中 1000 °C 煅烧处理 3 h, 成功制备出具有尖晶石结构的高纯度立方锡酸锌纳米粉体。以该制备工艺下所得锡酸锌粉体为增强相的 Ag 基电接触材料经复压复烧工艺达到最佳电阻率 $2.31 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 。

2) 相比于传统的 Ag/SnO_2 和 Ag/ZnO 电接触材料, Ag/Zn_2SnO_4 电接触材料在电学性能和致密度上具有明显优势。同时 Ag/Zn_2SnO_4 电接触材料的断口处 Ag 相与 Zn_2SnO_4 增强相颗粒间结合良好, 有利于电接触材料综合性能的进一步提高。

3) 使用 Ag/Zn_2SnO_4 和 Ag/SnO_2 复合粉体制备丝材和铆钉, 经检测发现 Ag/Zn_2SnO_4 材料在电学和加工性能, 还有温升方面存在优势。后续在研究方向上将进一步提高 Ag/Zn_2SnO_4 铆钉的电寿命。

参考文献 References

- [1] Čosović V, Talijan N, Živković D *et al.* *Journal of Mining and Metallurgy B: Metallurgy*[J], 2012, 48(1): 131
- [2] Wang Song(王 松), Fu Zuoxin(付作鑫), Wang Saibei(王塞北) *et al.* *Precious Metals(贵金属)*[J], 2013, 34(1): 79

- [3] Chen Nanguang(陈南光). *World Nonferrous Metals*(世界有色金属)[J], 2017(15): 235
- [4] Zhou Yunhong, Zhou Xiaolong, Tao Qiyong *et al. Precious Metals*[J], 2014, 35(S1): 100
- [5] Wei Zhijun, Zhang Lingjie, Shen Qianhong *et al. Rare Metal Materials and Engineering*[J], 2016, 45(S1): 513
- [6] Qiao Xiuqing, Shen Qianhong, Zhang Lingjie *et al. Rare Metal Materials and Engineering*[J], 2014, 43(11): 2614
- [7] Yu Zhaoqing(于朝清), Liu Xuemei(刘雪梅), Ren Xiaomei(任小梅) *et al. Precious Metals*(贵金属)[J], 2014, 35(S1): 93
- [8] Zhang Lingjie, Shen Tao, Shen Qianhong *et al. Rare Metal Materials and Engineering*[J], 2016, 45(7): 1664
- [9] Verma P, Pandey O P, Verma A. *Journal of Materials Science & Technology*[J], 2004, 20(1): 49
- [10] Aliha H M, Khodadadi A A, Mortazavi Y *et al. Sensors & Actuators B: Chemical*[J], 2013, 181: 637
- [11] Lin Zhijie, Sun Xudong, Liu Shaohong *et al. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*[J], 2015, 103: 012008
- [12] Sun Shaodong, Liang Shuhua. *Journal of Materials Chemistry A*[J], 2017, 5(39): 20534
- [13] Selvan R K, Subramanian Y, Lee Y S. *RSC Advances*[J], 2016, 6(26): 21448
- [14] Zhao Yang, Li Xifei, Yan Bo *et al. Advanced Energy Materials*[J], 2016, 6(8): 1502175
- [15] Fu Xianliang, Wang Xuxu, Ding Zhengxin *et al. Journal of Solid State Chemistry*[J], 2009, 182(3): 517
- [16] Grabis J, Letlena A, Rasmann D *et al. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*[J], 2015, 77(1): 012040
- [17] Coutts T J, Young D L, Li X N *et al. Journal of Vacuum Science & Technology A Vacuum Surfaces and Films*[J], 2000, 18(6): 2646
- [18] Xia Ji, Tian Ran, Guo Yiping *et al. Materials & Design*[J], 2018, 156: 272
- [19] Tan B, Toman E, Li Y G *et al. Journal of the American Chemical Society*[J], 2007, 129(14): 4162
- [20] Moon W J, Yu J H, Choi G M. *Sensors and Actuators B: Chemical*[J], 2001, 80(1): 21

Preparation of Cubic Zinc Stannate Nanopowder and Its Application in Silver-Based Electrical Contact Material

Ye Chenlin¹, Zhang Lingjie^{1,2}, Shen Tao², Mu Chengfa³, Yang Hui^{1,2}, Chen Xiao³, Fan Xianping¹

(1. Department of Materials Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

(2. Zhejiang-California International Nanosystems Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

(3. Wenzhou Hongfeng Electrical Alloys Co. Ltd, Wenzhou 325603, China)

Abstract: High-purity cubic zinc stannate nanopowder with spinel structure was synthesized by chemical co-precipitation method with different zinc sources, tin sources and precipitants as raw materials. Zinc stannate nanopowders as reinforced phase were applied to strengthen the properties of silver-based electrical contact materials. Ag/Zn₂SnO₄ electrical contact materials were prepared by mechanical alloying and powder metallurgy technique. The effects of the processing parameters such as heat treating temperature, types of zinc sources and types of precipitants on the microstructure and physical performance of Ag/Zn₂SnO₄ electrical contact materials were investigated. The morphology and phase of zinc stannate nanopowder were characterized by field emission scanning electron microscopy and X-ray electron diffractometry. The electrical resistivity, hardness and density of Ag/Zn₂SnO₄ electrical contact materials were also investigated. The results show that using tin chloride, zinc chloride and sodium carbonate as raw materials, under the condition of sintering temperature at 1000 °C for 3 h, the optimal electrical resistivity, density and Vickers hardness of the Ag/Zn₂SnO₄ electrical contact material can reach 2.31 μΩ·cm, 9.51 g/cm³ and 656.3 MPa, respectively. Compared with traditional Ag/SnO₂ and Ag/ZnO electrical contacts, Ag/Zn₂SnO₄ electrical contact material has obvious advantages in electrical properties and density. And Ag/Zn₂SnO₄ electrical contact material also has more compact fracture morphology and shows better interface bonding performance.

Key words: Ag/Zn₂SnO₄; electrical contact material; electrical performance; chemical co-precipitation

Corresponding author: Zhang Lingjie, Ph. D., Associate Professor, Department of Materials Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, P. R. China, Tel: 0086-571-88206798, E-mail: zhanglingjie@zju.edu.cn