

超细片状银粉的制备技术研究进展

冯清福, 孟宪伟, 梁 云, 李世鸿*

(昆明贵金属研究所 稀贵金属综合利用新技术国家重点实验室, 昆明 650106)

摘 要: 超细片状银粉比传统大尺寸银粉可更好地满足电子产品发展需求。对机械球磨法和化学还原法 2 种制备超细片状银粉方法进行了对比分析。球磨法产率高、成本低, 但易引入杂质且技术指标难保持一致; 化学法制备的银粉形貌粒径均一性高, 但产率低。介绍了化学还原法的技术特点, 对其生长机理进行了分析。提出对球磨工艺的深入研究, 以及化学法中保持高品质银粉情况下提高反应体系浓度, 是超细片状银粉制备技术的研究重点。

关键词: 金属材料; 片状银粉; 超细; 化学还原; 球磨; 生长机制

中图分类号: TM241 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2018)01-0086-08

Research Progress on Preparation Technologies of Ultra Fine Flake Silver Powder

FENG Qingfu, MENG Xianwei, LIANG Yun, LI Shihong*

(State Key Laboratory of Advanced Technologies for Comprehensive Utilization of Platinum Metals,
Kunming Institute of Precious Metals, Kunming 650106, China)

Abstract: Ultra fine flake silver powder serves the development needs of electronic products better than the traditional large size of silver powder. The contrastive analysis was carried out for the mechanical milling and chemical reduction methods used for preparing ultra fine flake silver powder. Ball milling method has high yield and low cost, but it is easy to introduce impurities and the technical specifications are difficult to maintain. The silver particles prepared by chemical method has high homogeneity and low yield. The technical characteristics of chemical reduction method are introduced, and its growth mechanism is discussed. The further research on ball milling technology and the concentration of reaction system under high quality silver powder in chemical process are the key points for the preparation technology of ultrafine flake silver powder.

Key words: metal materials; flake silver powder; ultra fine; chemical reduction; ball milling; growth mechanism

近年来电子工业的迅猛发展, 拓宽了由贵金属粉末制成的浆料在电子元器件中的应用^[1]。其中, 因具有优异的导电和导热性而作为导体电子浆料的重要导电功能材料——银粉的需求量也在不断地增加^[2]。目前, 银粉按粒子维度分为一维、二维、三维微纳米粒子^[3], 主要有球状、片状、树枝状等几种典型的形状^[4-5]。相比其他形貌的银粉, 片状银粉作为导电填料在形成导电通路时, 因其颗粒间为线

接触或面接触, 相较球状银粉的点接触, 片状银粉具有相对较低的电阻^[6]; 同时, 片状银粉的比表面积相对球状银粉较大, 表面活化能比球状或类球状银粉低, 所以其氧化度和氧化趋势较低; 另外, 片状银粉具有较宽的挠度范围和抗折裂伸张特性, 可大大提高电子元件的可靠性^[7]。由于片状结构银粉的以上优点使其制备高导低温银浆涂层时性能优良, 并且其具有银的白色光泽^[8], 因此被广泛应用

收稿日期: 2017-03-07

第一作者: 冯清福, 男, 硕士研究生, 研究方向: 贵金属电子浆料。E-mail: 785878474@qq.com

*通讯作者: 李世鸿, 男, 正高级工程师, 研究方向: 贵金属电子浆料。E-mail: lsh@ipm.com.cn

于各种电子元器件中,如碳膜电位器端头、薄膜开关、滤波器、太阳能电池电极等^[9-11]。片状银粉不仅可以作为导电功能材料,还因为具有显著的尺寸效应与形状敏感的表面等离子体波带,在光学、催化及生物标记等方面同样具有很好的应用前景^[12]。

由于银粉的结构性能很大程度决定电子元件电性能的优劣,因此,随着电子产品趋向微型化、集成化、智能化,对银粉末的性能要求也越来越高。片状银粉的颗粒度和厚薄、粒径分布等物理性能对银浆电性能有着重要的影响^[13]。当片状银粉粒径减小到微米级以下(粒径<1 μm)时,其电导率按 $\delta \propto D^3$ 的规律下降,特别是当尺寸减小到纳米级时,电导率急剧降低^[14]。此外,纳米级银片自身还不易沉淀和收集^[15]。相比之下,当片状银粉的粒径为亚微米或微米尺度时,其形貌为光亮的片状,对电子电路的均匀性、平整度等印刷效果有明显改善,并可节约银粉用量 30%~50%^[16]。但如果片状银粉的粒径过大,则将失去纳微米粒子所具备的独特物理化学性质。因此,超细片状银粉的制备和性能研究现已成为纳微米化学领域研究的热点之一,超细片状银粉通常是指一维厚度小于 100 nm,片径为 0.1~5.0 μm 的银粉末,与普通的大颗粒银粉相比,可呈现出许多特有的物理化学性质。然而,目前国内外研究制备的片状银粉粒径主要集中在 100 nm^[17-18]以

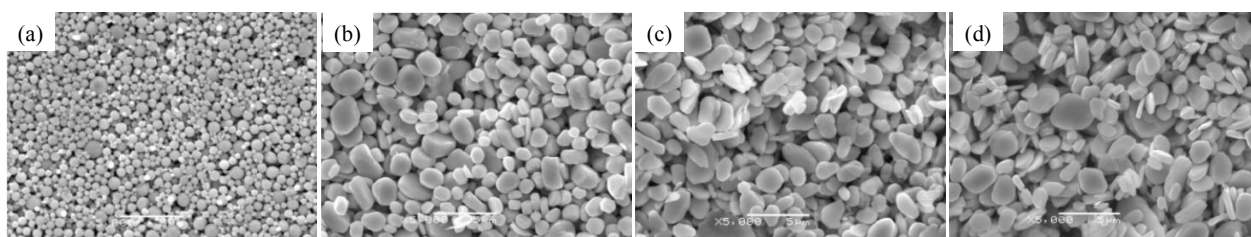
下或者 5 μm^[19]以上,片径在 0.1~5.0 μm 之间的超细片状银粉的报道则相对较少。

基于以上背景,本文对近年来国内外超细片状银粉的制备方法分类分析,对比各种方法的优缺点,介绍化学还原法制备超细片状银粉的几种生长机理,对超细片状银粉存在的问题和制备技术的研究方向进行展望。

1 机械球磨法

机械球磨法制备超细片状银粉的步骤一般是将球状、类球状或树枝状的银粉颗粒,经过机械球磨使金属银粉末反复变形、断裂、焊合,原子之间相互扩散形成片状银粉^[20]。通过改变球磨的具体工艺参数,包括球磨时间、球磨机转速、磨球的级配、磨球的大小选择、填充系数、球料比、助磨剂的种类及添加量等可制备出不同粒度、具有不同性能的片状银粉^[4]。

林辰^[21]用 PVD 法制备出球形银粉后,再用硬脂酸乙醇溶液作为研磨助剂球磨 4 h,得到中位粒径(D_{50})为 2.258 μm、成片效果好的超细片状银粉并研究了球磨时间、助磨剂类型等对球磨银粉的影响(如图 1 所示)。其研究结果表明,研磨 4 h 以后粒径变大速度加快,故最佳球磨时间为 4 h。



(a). 原料银粉(Raw material); (b). 1 h; (c). 3 h; (d). 4 h

图 1 硬脂酸和乙醇作为研磨助剂,不同球磨时间下片状银粉的 SEM 图像^[21]

Fig.1 SEM images of flake-like silver powders with different ball-milling time and grinding aids of stearic acid and ethanol^[21]

据伟等^[22]采用粒径均一的球形银粉为球磨前驱体,以乙醇为球磨介质,球磨时间为 15 h,制备出的片状银粉片状率高,粒径大小为 4~6 μm,将片状银粉配制成银胶,印刷并固化成线路后,测试了其电导率,达到了应用指标。

谭富彬等^[23]先用化学还原方法制备出粒径为 0.5~1 μm 的超细银粉,再通过机械球磨法得到片状银粉,并研究了片状银粉特性与由它制成的银浆电性能的关系。研究表明,为了使银浆具有优良的导

电性,应该制备松装密度小、比表面积适中、片状大小分布不均匀且片状薄的片状银粉。

孟淑媛等^[24]用抗坏血酸还原硝酸银得到球形银粉,然后配制质量分数为 4%的十二烷基硫酸钠水溶液作研磨剂,选取直径 3~5 mm 铅球为研磨介质球磨 5 h 得到分散性好的片银,其平均粒径小于 6 μm,并论述片银的比表面积和表面吸附有机物种类与导电性能的关系,得出比表面积越大,导电性越好的结论(见图 2)。

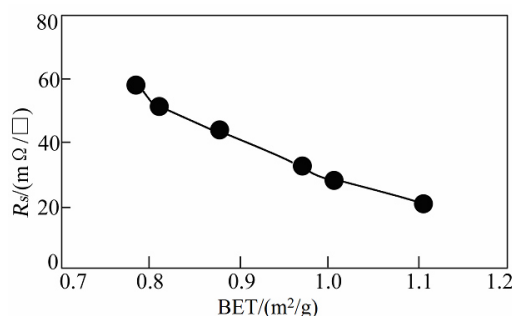


图 2 比表面积(BET)对片银导电性的影响^[24]

Fig.2 Effect of specific surface area (BET) on conductivity of flake-like silver^[24]

周云等^[25]采用氨水作为络合剂和 pH 调节剂, 以聚乙烯吡咯烷酮和吐温 80 双分散剂作为分散体系, 水合肼作为还原剂得到原始银粉后球磨。最终得到的不规则银粉粉体粒径 2~4 μm, 纯度>99.8%, 可单独作为太阳能背面银浆用银粉。

目前机械球磨法制备的片状银粉粒径一般为微米级, 银粉色泽光亮、密度大、机械性能好、比表面积大; 但球磨过程中影响因素多, 不同工艺、不同生产者或同一工艺同一生产者生产的不同批次的片状银粉, 在技术指标控制上很难实现一致^[5]。另

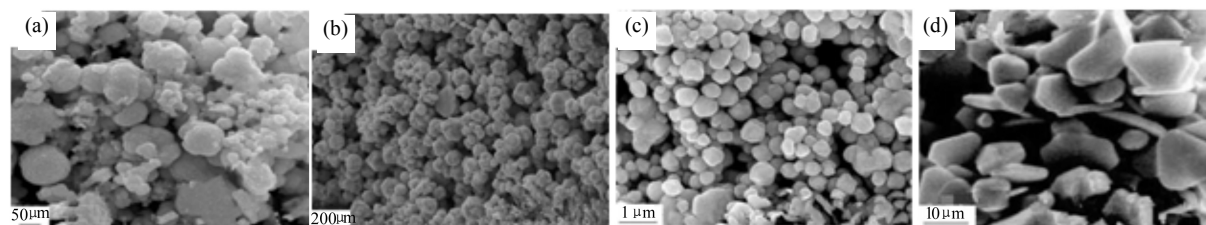
外, 在球磨的过程中容易带入杂质, 影响银粉的纯度, 同时还会产生硬化, 不易达到要求的细度, 并且能耗高。但是该方法产率高, 成本相对较低, 因此仍是生产超细片状银粉的主要方法之一。

2 化学还原法

化学还原法是指在液相、固相或气相条件下, 用还原剂还原银的前驱体化合物而制备银粉的一类方法。在银粒子沉淀的过程中, 采用如光辐射、加入其他辅助化学品等手段以获得片状形貌的银粉。化学还原法因其方法简单、设备要求相对较低, 成为众多实验室研究的重点, 也是本文综述的重点。

2.1 光诱导法

直接采用不同的光源进行照射即可得到不同形貌的非球形银粒子, 整个光诱导过程可以分为诱导、生长和成熟 3 个阶段^[4]。例如, 施昌快等^[26]首先将抗坏血酸、聚乙烯吡咯烷酮、硝酸银和氨水等混合得到银溶液, 然后将所得反应溶液置于光化学反应仪暗箱中, 以高压汞灯(波长 352 nm)紫外光辐照 30 h 以上, 最终得到亚微米级和微米级的粒径不一的光亮银粉(如图 3 所示)。



(a). 0 h; (b). 15 h; (c). 30 h; (d). 45 h

图 3 不同光辐照时间后片状银粉的 SEM 图像^[26] Fig.3 SEM images of flake-like silver powders with different lighting time^[26]

采用光诱导法制备超细片状银粉, 具有工艺和设备简单、产品不易被污染等优点, 是替代现行球磨法的可选方法之一^[27]。但该方法由于操作条件难以控制, 制备的片状银粉的粒径不统一, 且反应时间长, 因此, 对电子浆料及电子元器件的性能有何影响尚待进一步探索。迄今为止, 利用该方法制备超细片状银粉的研究报道相对较少。

2.2 模板法

模板法是利用模板剂在溶液中自组装形成的特殊结构, 使有机物在晶核的某个晶面上进行选择分子吸附, 降低晶面的表面能, 使其择向生长, 进而生成非球形结构, 具体包括硬模板法、软模板法以及生物模板法等^[28-29]。

生物模板法如 Yang^[17]等人以葡聚糖酶为模板, 利用右旋糖苷分子主链和支链构成的复杂网状结构最终获得了微米级(1~2 μm), 厚度 50 nm 的形状不均匀的片状银粉。

Yang 等^[18]以甘氨酸基甘氨酸作为模板, 在相邻甘氨酸基甘氨酸分子间构成 C-O...H-N 的氢键网络上形核然后生长制备出粒径为 800 nm, 厚度为 50 nm 的片状银粉(如图 4 所示)。可以看出产物有六角形, 三角形等片状银粉和少量颗粒状银粉。

软模板法如刘江等^[30]将定量的聚乙烯吡咯烷酮(PVP)加入硝酸银溶液中, 然后滴加缓冲溶液至反应终止, 制备出粒度为 0.4 μm 的片状银粉, 且产率达 99%。

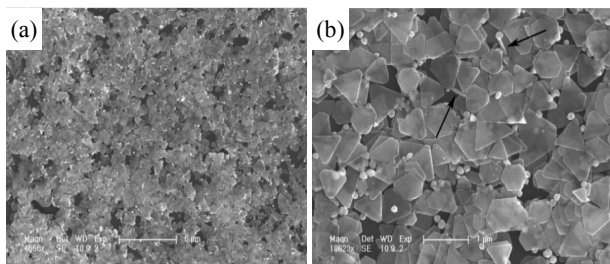


图 4 超细片状银粉的低倍率(a)和高倍率(b)SEM 图像^[18]

Fig.4 SEM images of Ag nanoplates with low (a) and high (b) magnification^[18]

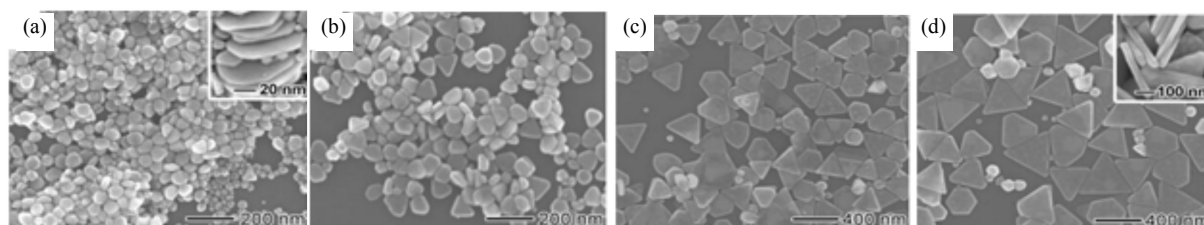
Zhai 等^[31]把硫酸亚铁溶液倒入含有柠檬酸的硝酸银溶液中,一步制备出粒径 2~10 μm 的形状不规则的片状银粉。实验结果表明,硝酸银加入方式的不同对产物的形貌和尺寸有较大影响。

陈海波等^[32]申请的专利中采用葡萄糖作为还

原剂, PVP 作为保护剂和分散剂, 硝酸银为银源, 在一定温度下反应 48 h, 经过离心分离得到微米级的三角形银片。该类型银片形貌规整, 边长为 0.8~1 μm , 厚度为 30 nm, 而且产率高、不易团聚、稳定好、合成工艺简单、环境友好, 适合大规模制备。

段君元等^[33]用低温(60 $^{\circ}\text{C}$)溶剂热法, 以 N,N-二甲基甲酰胺(DMF)为主还原剂和溶剂, 以 PVP 为辅助还原剂和晶面生长控制剂, 以硝酸银为前驱物, 成功制备出边长为 1~4 μm 、宽厚比 ≥ 10 的单晶银片, 并提出大片状银片的生成机理。

Washio 等^[34]仅以 PVP 作为还原剂与表面活性剂, 在 60 $^{\circ}\text{C}$ 下反应 21 h 成功制备出平均粒径为 0.3 μm 的超细六边形和三角形银片, 且银片片径可以通过反应时间的长短来调控(如图 5 所示)。



(a). 40 min; (b). 1 h; (c). 7 h; (d). 21 h

图 5 不同反应时间下产物的 SEM 图像^[34] Fig.5 SEM images of products at different stages of a synthesis^[34]

硬模板法在制备微纳米结构方面有着强限域作用, 能够严格控制材料的大小和尺寸。但是合成的后处理比较麻烦, 往往需要用强酸、强碱或有机溶剂除去模板, 这不仅增加工艺流程, 而且容易破坏模板内的微纳米结构。生物模板法需要特定的细菌或生物材料, 操作复杂, 控制难度高且反应过程比较缓慢。除此之外, 所得非球形粒子往往是作为球形粒子的副产物而存在, 方法本身的偶然性、不确定性较大且产率较低, 因此目前尚难以在工业生产中得到直接应用^[35-36]。软模板法通过化学作用控制纳米颗粒的形貌、大小和取向, 通常使用各种类型的表面活性剂、微乳液、高分子的自组织结构等, 相较于其他 2 种, 软模板容易移除。

总体而言, 与机械球磨法相比, 化学还原法制备超细片状银粉具有诸多优越性, 例如银粉不会因机械球磨而进一步污染, 纯度高, 粒子结构均匀, 且该法可以较为精确地控制反应条件, 有利于得到粒径和形状可控的超细片银。但是, 目前该方法的银粒子浓度偏低, 成本较高, 产率低, 因此较难满足工业上对超细片状银粉的大量需求, 而提高反应体系的银粒子浓度则容易导致超细片状银粉形貌不

可控制、粒径分布范围宽等系列问题。所以, 明确反应体系浓度与超细片状银粉品质之间的关系是一个值得深入研究的课题^[37]。

3 化学法制备超细片状银粉的生长机制

目前, 通过化学还原法可制备出形貌、粒径大小可控的超细片状银粉^[38]。不同学者根据实验条件和结果也提出了各自不同的生长机制^[37, 39-41]。总体来说, 对于超细片状银粉生长机制的研究目前主要有 2 种模型比较受认同。

一种模型认为, 通过表面活性剂的选择吸附作用使具有最高热力学稳定性的优势(111)面生长受到限制, (110)和(100)面发生生长, 从而生成片状结构, 即表面活性剂的选择吸附作用模型^[41-43], 如图 6 所示。根据吉布斯-乌尔夫定律, 比表面自由能小的晶面, 对应于面网密度较大的晶面, 其相应的生长速率也小, 因此, 晶体最终保留下来的是面网密度大的晶面, 也就是比表面自由能小的晶面。对于面心立方结构金属银而言, 各个晶面的表面张力按 $\gamma(111) < \gamma(100) < \gamma(110)$ 顺序递增。金属银(111)面的

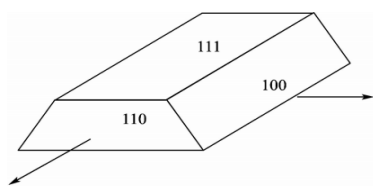
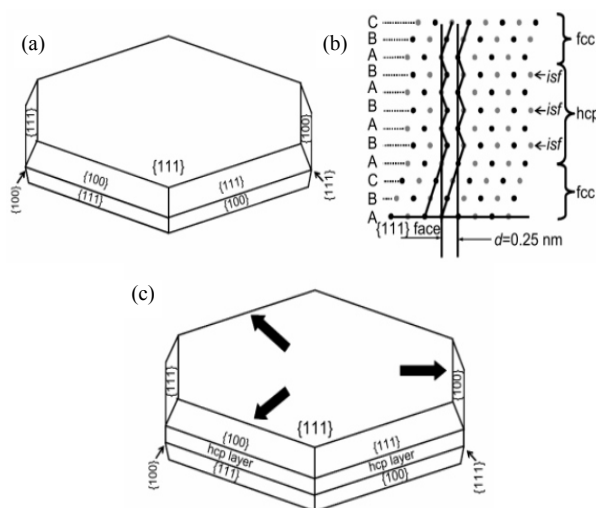
图 6 表面活性剂的选择吸附作用模型示意图^[37]

Fig.6 Schematic diagram of surfactant selective adsorption model

表面活性能最低，可以吸附某些特定的化学试剂，例如柠檬酸^[44]，使{111}面的表面自由能更低，从而限制其生长，促使晶核向片状生长。

另一种是晶体缺陷模型^[45-46]，包括六边形向三角形转变的缺陷诱导生长模型(卤化物生长模型)^[46]和六边形晶种向片状结构演化的晶体缺陷理论^[47]。卤化物生长模型认为形成银片的关键是单孪晶种子。面心立方结构的对称性使单孪晶种子形成六边形晶核，在孪晶面终止的 6 个侧表面形成{111}面交替的凹陷与凸出。在凸出的一边，{111}面吸附的原子仅有 3 个原子最近邻；而在凹槽里吸附的原子有 4 个最近邻，配位数高，增加了稳定能，加快了生长速度。2 种位置银原子生长速度不同(凹陷处的原子较凸出处稳定)，从而导致六边形向三角形转变。

六边形晶种向片状结构演化的晶体缺陷理论示意图如图 7 所示。



(a). 面心晶体构成的纳米片(无孪晶面) (A nanoplate constructed from a single fcc crystal (no twin planes or defects)); (b). 沿{111}晶面的缺陷 (Faults along {111}); (c). 2 个不同厚度的面心晶格层中夹杂一个六方晶格层 (A nanoplate with a defect-induced hcp layer sandwiched between two fcc layers of unequal thicknesses)

图 7 晶体缺陷生长模型示意图^[47]

Fig.7 Schematic diagram of crystal defect growth model^[47]

在无缺陷晶体中，六边形晶种的 6 个侧表面由周期性分布的{100}和{111}晶面相间构成(图 7(a))。由于堆垛层错的存在，使银片从下底面到上底面延伸的方向({111}晶向)上出现 ABCABC 与 ABAB 相间分布的晶体缺陷结构(如图 7(b)所示)。这些不同位置、不同厚度的层错结构打破了原有侧表面上{100}与{111}晶面数量的平衡(图 7(c))，迫使侧表面生长速度不均衡，进而演变为片状结构。

4 结语和展望

本文分类阐述了超细片状银粉的制备方法并对各种方法的优缺点进行了对比分析，与机械球磨法相比，化学还原法可以较为精确地控制反应条件，有利于得到高纯度、粒径和形状可控的超细片银，有望成为超细片状银粉的主要制备方法之一。然而该方法制备超细片状银粉的生长机制虽然已有一定的研究，但迄今为止尚不明确，这也导致不同批次的超细片状银粉形貌性能存在差异。

综上所述，超细片状银粉的制备研究已经取得诸多成果，但有些关键问题仍待探索，如化学还原法中在提高银粒子浓度的同时如何保证产物形貌和尺寸的均一性和分散性；产物的表面改性和内在机理研究；机械球磨法中球磨工艺的稳定控制、杂质的消除以及球磨过程的理论模拟研究等。

随着电子产品微型化、集成化、智能化趋势的迅猛发展，超细片银填充导电浆必将拥有更为广阔的应用前景。这对研究者来说既是挑战又是机遇，应给予充分关注。总之，超细片状银粉的制备技术与工艺研究对促进新一代电子浆料的整个工艺、技术、材料和设备等的发展具有极其重要的意义。

参考文献:

- [1] 赵德强, 马立斌, 杨君, 等. 银粉及电子浆料产品的现状及趋势[J]. 电子元件与材料, 2005, 24(6): 54-56.
ZHAO D Q, MA L B, YANG J, et al. The present situation and trend of silver powder and electronic paste products[J]. Electronic components & materials, 2005, 24(6): 54-56.
- [2] 赖文忠, 赵威, 李星国. 多形貌纳米银的可控合成研究进展[J]. 稀有金属材料与工程, 2011, 40(7): 1311-1316.
LAI W Z, ZHAO W, LI X G. Progress in controllable synthesis of silver nanoparticles[J]. Rare metal materials and engineering, 2011, 40(7): 1311- 1316.
- [3] 赖文忠, 李增富, 肖旺钊, 等. 片状纳米银的制备及应

- 用研究进展[J]. 三明学院学报, 2009, 26(4): 436-441.
- LAI W Z, LI Z F, XIAO W X, et al. Progress in preparation and application of flake nano-silver[J]. Journal of Sanming University, 2009, 26(4): 436-441.
- [4] 甘卫平, 甘梅, 刘妍. 高能球磨对片状银粉的改性研究[J]. 材料导报, 2007, 21(F05): 325-327.
- GAN W P, GAN M, LIU Y. Modification of high-energy ball milling of silver flake[J]. Materials review, 2007, 21(F05): 325-327.
- [5] 张继国, 乔学亮, 陈建国, 等. 片状银粉制备技术的现状与展望[J]. 功能材料, 2004, 35(z1): 3131-3136.
- ZHANG J G, QIAO X L, CHEN J G, et al. Preparation of silver flake situation and prospects[J]. Journal of functional materials, 2004, 35(z1): 3131-3136.
- [6] 蒋伟燕, 张传福, 张银亮. 片状银粉的性能及其制备方法[J]. 材料研究与应用, 2008, 2(3): 183-186.
- JIANG W Y, ZHANG C F, ZHANG Y L. Silver flake performance and preparation method[J]. Materials research and application, 2008, 2(3): 183-186.
- [7] 滕媛, 闫方存, 李文琳, 等. 银浆用银粉制备工艺的综述[J]. 材料导报, 2015(S1): 172-175.
- TENG Y, YAN F C, LI W L, et al. The review of preparation of silver paste[J]. Materials review, 2015(S1): 172-175.
- [8] 黄富春, 李文琳, 熊庆丰, 等. 高径厚比片状银粉的制备[J]. 贵金属, 2012, 33(2): 30-35.
- HUANG F C, LI W L, XIONG Q F, et al. The preparation of high diameter-thick ratio flake silver powders[J]. Precious metals, 2012, 33(2): 30-35.
- [9] 柳忠琪, 刘春松, 李代颖. 电子浆料用银粉制备工艺综述[J]. 船电技术, 2014, 34(5): 6-8.
- LIU Z Q, LIU C S, LI D Y. The summary of electronic pastes with silver powder preparation technology[J]. Marine electric, 2014, 34(5): 6-8.
- [10] 苏碧泉, 张玉珍, 杜永令, 等. 纳米银/聚多巴胺修饰玻碳电极的制备及电化学行为[J]. 高等学校化学学报, 2010, 31(8): 1661-1664.
- SU B Q, ZHANG Y Z, DU Y L, et al. Nano silver poly / dopamine preparation and electrochemical behavior of modified glassy carbon electrode[J]. Chemical journal of Chinese universities, 2010, 31(8): 1661-1664.
- [11] 谭富彬, 赵玲, 孙文通. 聚合物导电银浆[J]. 贵金属, 1991, 12(4): 37-41.
- TAN F B, ZHAO L, SUN W T. Polymer conductive silver pulp[J]. Precious metals, 1991, 12(4): 37-41.
- [12] SUN Y G, GARY P W. Surfactantless synthesis of silver nanoplates and their Application in SERS[J]. Small, 2007, 3(11): 1964-1975.
- [13] 易保华. 合成碳膜电位器导电银浆的开发研究[J]. 贵金属, 1989, 10(3): 19-25.
- YI B H. Development of synthetic carbon potentiometer of conductive silver paste[J]. Precious metals, 1989, 10(3): 19-25.
- [14] 丁星兆, 柳襄怀. 纳米材料的结构、性能及应用[J]. 材料导报, 1997(4): 1-5.
- DING X Z, LIU X H. Microstructure, properties and application of nanostructure materials[J]. Materials review, 1997(4): 1-5.
- [15] 甘卫平, 陈迎龙, 郭桂全, 等. 以甲基纤维素作分散剂制备高分散超细银粉[J]. 粉末冶金材料科学与工程, 2012, 17(4): 522-528.
- GAN W P, CHEN Y L, GUO G Q. Preparation of highly dispersed ultrafine silver powder with methyl cellulose as dispersant[J]. Materials science and engineering of powder metallurgy, 2012, 17(4): 522-528.
- [16] 李晓龙, 黄富春, 李文琳, 等. 低松装密度片状银粉的研究[J]. 贵金属, 2012, 33(1): 16-20.
- LI X L, HUANG F C, LI W L, et al. The research of low apparent density flake silver powders[J]. Precious metals, 2012, 33(1): 16-20.
- [17] YANG J H, QI L M, ZHANG D B, et al. Dextran-controlled crystallization of silver microcrystals with novel morphologies[J]. Crystal growth & design, 2004, 4(6): 1371-1375.
- [18] YANG J H, LU L H, WANG H S, et al. Glycyl glycine templating synthesis of single-crystal silver nanoplates[J]. Crystal growth & design, 2006, 6(9): 2155-2158.
- [19] 梁焕珍, 金东镇, 喻克宁, 等. 六方片状银粉的合成[J]. 粉末冶金技术, 2003, 21(4): 218.
- LIANG H Z, JIN D Z, YU K N, et al. The synthesis of the six-party flake silver powders[J]. Powder metallurgy technology, 2003, 21(4): 218.
- [20] 张磊, 甘国友, 严继康, 等. 高能球磨法制备片状银粉的研究[C]//中国材料研究会. 2010 中国材料研讨会论文集. 长沙: 中国材料研讨会, 2010.
- ZHANG L, GAN G Y, YAN J K, et al. High energy ball milling preparation of silver flake[C]//C-MRS. Symposium on 2010 C-MRS, Changsha: 2010.
- [21] 林辰. 太阳能电池浆料用片状银粉的制备[J]. 科技创新与应用, 2015(5): 9-10.
- LIN C. The preparation of solar cell paste with flake silver powders[J]. Technology innovation and application, 2015(5): 9-10.
- [22] 琚伟, 马望京, 彭丹, 等. 导电银胶用片状银粉的制备[J]. 贵金属, 2015, 36(2): 29-32.
- JU W, MA W J, PENG D, et al. The preparation of

- conductive silver glue with flake silver powders[J]. *Precious metals*, 2015, 36(2): 29-32.
- [23] 谭富彬, 赵玲, 刘林, 等. 纳米银粉的液固相化学制备方法及其特性[J]. *贵金属*, 1999, 20(3): 9-12.
TAN F B, ZHAO L, LIU L, et al. Liquid-solid phase chemical preparation and properties of nano silver powder[J]. *Precious metals*, 1999, 20(3): 9-12.
- [24] 孟淑媛, 吴海斌, 吴松平, 等. 超细银粉的制备及其导电性研究[J]. *电子元件与材料*, 2004, 23(7): 35-37.
MENG S Y, WU H B, WU S P, et al. The preparation of ultrafine silver powder and its electrical conductivity[J]. *Electronic components & materials*, 2004, 23(7): 35-37.
- [25] 周云, 张彦伟, 王晶晶, 等. 一种太阳能电池背面银浆用不规则片状银粉的制备方法: CN 201410839022[P]. 2015-04-01.
ZHOU Y, ZHANG Y W, WANG J J, et al. A solar battery on the back of the preparation methods of silver pulp with irregular flake silver powders: CN 201410839022[P]. 2015-04-01.
- [26] 施昌快, 梁诗宇, 朱晓云. 光诱导还原法制备片状银粉的研究[J]. *稀有金属*, 2015, 39(6): 533-539.
SHI C K, LIANG S Y, ZHU X Y. Photoinduced reduction for preparing flake silver[J]. *Chinese journal of rare metals*, 2015, 39(6): 533-539.
- [27] 周全法, 李锋, 朱雯. 光诱导法制备纳米级片状银粉的研究[J]. *贵金属*, 2003, 24(1): 35-38.
ZHOU Q F, LI F, ZHU W. Photoinduced reduction for preparing flake nanosilver[J]. *Precious metals*, 2003, 24(1): 35-38.
- [28] TÚLIO C R R, HERBERT W, EDUARD W, et al. Formation kinetics of silver triangular nanoplates[J]. *Journal of physical chemistry C*, 2003, 111(7): 2885-2891.
- [29] YOREO J J D, DOVE P M. Shaping crystals with biomolecules[J]. *Science*, 2004, 306(5700): 1301-1302.
- [30] 刘江, 宋永辉, 兰新哲. 片状银粉的制备研究[J]. *有色金属工程*, 2002, 54(z1): 64-68.
LIU J, SONG Y H, LAN X Z. The preparation of flake silver[J]. *Nonferrous metals engineering*, 2002, 54(z1): 64-68.
- [31] ZHAI A X, CAI X H, DU B. A novel wet-chemical method for preparation of silver flakes[J]. *Transactions of nonferrous metals society of China*, 2014, 24(5): 1452-1457.
- [32] 陈海波, 曹镛, 彭俊彪, 等. 一种环境友好的微米级三角形银片的制备方法: CN201110051486[P]. 2012-12-26.
CHEN H B, CAO Y, PENG J B, et al. A kind of environmental friendly micron grade triangle preparation methods of silver strip: CN 201110051486[P]. 2012-12-26.
- [33] 段君元, 章桥新, 王一龙, 等. 边长为微米级的银纳米片的简易合成与形成机理[J]. *物理化学学报*, 2009, 25(7): 1405.
DUAN J Y, ZHANG Q X, WANG Y L, et al. Facile synthesis and formation mechanism side length of micron silver[J]. *Acta physico-chimica sinica*, 2009, 25(7): 1405.
- [34] WASHIO I, XIONG Y J, YIN Y D. Reduction by the end groups of poly(vinyl pyrrolidone): A new and versatile route to the kinetically controlled synthesis of Ag triangular nanoplates[J]. *Advanced materials*, 2006, 18(13): 1745-1749.
- [35] JIN R C, CAO Y W, MIRKIN C A, et al. Photoinduced conversion of silver nanospheres to nanoprisms[J]. *Science*, 2001, 294(5548): 1901-1903.
- [36] ZHOU Q F, BAO J C, XU Z. Shape-controlled synthesis of nanostructured gold by a protection-reduction technique[J]. *Journal of materials chemistry*, 2002, 12(2): 384-387.
- [37] 李芝华, 王炎伟, 卢健体. 片状纳米银粉的化学制备技术研究进展[J]. *化工学报*, 2009, 60(6): 1351-1356.
LI Z H, WANG Y W, LU J T. Preparation of technical studies on chemical nano flake silver powder[J]. *Journal of chemical industry and engineering*, 2009, 60(6): 1351-1356.
- [38] 莫博, 阚彩侠, 柯善林. 银纳米片的研究进展[J]. *物理化学学报*, 2012, 28(11): 2511-2524.
MO B, KAN C X, KE S L. The research progress of nano silver piece[J]. *Acta physico-chimica sinica*, 2012, 28(11): 2511-2524.
- [39] TANG B, XU S P, AN J, et al. Photoinduced shape conversion and reconstruction of silver nanoprisms[J]. *Journal physical chemistry C*, 2009, 113(17): 7025-7030.
- [40] YANG G W, LI H L. Sonochemical synthesis of highly monodispersed and size controllable Ag nanoparticles in ethanol solution[J]. *Materials letters*, 2008, 62(14): 2189-2191.
- [41] ZHANG J, MARK R L, CHAD A M. Photomediated synthesis of silver triangular bipyramids and prisms: the effect of pH and BSPP[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2010, 132(35): 12502-12510.
- [42] WANG Z L. Transmission electron microscopy of shape-controlled nanocrystals and their assemblies[J]. *Journal physical chemistry B*, 2000, 104(6): 1153-1175.
- [43] LEDWITH D M, WHELAN A M, KELLY J M. A rapid, straight-forward method for controlling the morphology

of stable silver nanoparticles[J]. Journal of material chemistry, 2007, 17(23): 2459-2464.

- [44] ZHANG Q, Li N, GOEBL J, et al. A systematic study of the synthesis of silver nanoplates: Is citrate a "magic" reagent[J]. Journal of the American Chemical Society, 2011, 133(46): 18931-18939.

- [45] ROCHA T C R, ZANCHET D. Structural defects and their role in the growth of Ag triangular nanoplates[J]. Journal of physical chemistry C, 2007, 111(19): 6989-

6993.

- [46] LOFTON C, SIGMUND W. Mechanisms controlling crystal habits of gold and silver colloids[J]. Advanced functional materials, 2005, 15(7): 1197-1208.

- [47] DAMIAN A, LEDWITH D M, GARA M, et al. Optical properties and growth aspects of silver nanoprisms produced by a highly reproducible and rapid synthesis at room temperature[J]. Advanced functional materials, 2008, 18(14): 2005-2016.

CPMC'2018

2018 年中国贵金属论坛 征文通知

2018 年，是改革开放 40 周年，是实现第一个百年目标的关键冲刺阶段，奋进新时代，贵金属行业应如何“协同合作，创新发展”，紧跟国家发展战略的步伐，破局攻坚，踏着第四次工业革命的浪潮，开创新面貌？

中国有色金属工业协会铂族金属分会是中国有色金属工业协会的分支机构，由从事铂族金属行业生产、科研、设计、应用、设备制造、贸易、金融及相关领域的企、事业单位、社团组织为实现共同意愿而自愿组成。中国有色金属学会贵金属学术委员会（简称：CPMC）成立于 1997 年，是中国有色金属学会的专业学术委员会之一，是全国贵金属及相关学科单位和个人组成的非盈利性社会团体，会员来自中国贵金属及相关行业学术、技术、产业、投资、金融、管理等各个领域。

2018 年 11 月，中国有色金属工业协会铂族金属分会与中国有色金属学会贵金属学术委员会将携手举办“2018 年中国贵金属论坛”，以“开放创新、合作共赢”为宗旨，围绕贵金属行业变革和发展大势，交流科技前沿及应用发展，解读政策和市场信息，分析把握新形势新要求。全面沟通产业、资本、研究和应用。共享经验与成果，共商发展新路径，共建贵金属行业更加繁华与美好的未来。

一、主办单位

中国有色金属工业协会铂族金属分会
中国有色金属学会贵金属学术委员会(CPMC)

二、会议日期

2018 年 11 月

三、征文范围

- 1、贵金属市场与投资
- 2、贵金属材料与技术
- 3、贵金属资源与技术
- 4、贵金属检测与技术

四、征文要求

1、凡内容符合征文范围、未在正式刊物或其他会议上发表的论文，均欢迎投稿。论文字数限定在 4000~7000 字，文责自负。

2、论文投稿截止时间为 **2018 年 8 月 30 日**，论文由《贵金属》期刊编辑部组织评审，录用的论文将由中文核心期刊、中国科技核心期刊《贵金属》增刊出版。本次会议论文不收取版面费。

3、论文应包括：标题、作者姓名、工作单位、

摘要、关键词、论文正文、参考文献等（除正文外，其余内容均需提供中英文双语；国内投稿的英文论文请附中文译稿）。文稿末尾请提供详细地址、电话、E-mail 等联系信息。

4、论文格式模板请到《贵金属》网站（<http://www.j-preciousmetals.com>）下载。

五、论文投稿

请将论文发送到 cpmc@ipm.com.cn，并在邮件中注明“CPMC'2018”论文，注明作者姓名、工作单位、详细地址、电话、E-mail 地址。投稿后请再次电话或短信与工作人员确认。

六、联络方式

地 址：昆明高新技术开发区科技路 988 号
昆明贵金属研究所（邮编：650106）

联系人：

杨知微 0871-68328605 15925209151

张 杨 0871-68328611 18208739297

卞 洁 0871-68328605 13888237932

E-mail: cpmc@ipm.com.cn

《贵金属》征稿启事

《贵金属》创刊于 1980 年,为中国有色金属学会和昆明贵金属研究所共同主办的、国内外公开发行的学术季刊。期刊主要报道贵金属在冶金、材料、化学和分析测试等领域的研究和综述论文,是中国乃至全球唯一的全面报道 8 个贵金属元素 (Au、Ag、Pt、Pd、Rh、Ir、Os、Ru) 科研成果的学术刊物,成为国内外贵金属行业科技人员的重要参考资料。

《贵金属》影响因子一直稳居国内同类期刊前列,被多个核心数据库收录。期刊持续入编《中文核心期刊要目总览》,被中国科技核心期刊和中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊收录,是美国化学文摘(CA)、英美金属学会金属文摘(MA)、美国剑桥科技文摘(CSA)等文摘数据库的文献源期刊。期刊在中国知网、万方、维普和超星数据库均可下载全文,在《贵金属》网站也可免费下载近年的论文全文。

为鼓励科研人员踊跃投身科学实践,促进贵金属科技进步和人才成长,自 2013 年起,期刊每年进行一次优秀论文评选。根据论文的学术水平和引证指标,从前年刊发的 60 余篇论文中评选出优秀论文 4 篇,在当年的“中国贵金属论坛”会议上予表彰。迄今已累计奖励优秀论文一等奖 5 篇、二等奖 15 篇。

《贵金属》期刊欢迎国内外同行专家学者、科研人员和大专院校师生赐稿。

地址:云南省昆明市高新技术开发区科技路 988 号 《贵金属》编辑部(邮编:650106)

网站: <http://www.j-preciousmetals.com> 邮箱: bjba@ipm.com.cn 电话: 0871-68328632

作者投稿请登录本刊网站,按模板格式灌文后将稿件发至本刊邮箱。编辑部在检查和检测后回复收稿信息(3 天内),审稿完成后(一般 1 个月内)会尽快通知作者。投稿后如未收到反馈信息,请通过电话或邮件了解情况。

1. 来稿篇幅一般在 12000 字以内。论文文责自负,应保证数据真实,论证合理,结果可靠。

2. 文章格式

① 中英文题目:简洁切题。中文题目一般控制在 20 字以内;英文题目不宜过长,实词首字母大写。

② 中英文摘要:简述研究目的、实验方法及结果(150~250 字),中英文摘要内容要相对应一致。

③ 中英文关键词:3~6 个。

④ 作者简介:文稿首页附第一作者和通讯作者简要信息,包括姓名、性别、学历、职称、研究方向和 E-mail。若论文属基金项目,应提供基金项目类别(项目编号)。

⑤ 正文:结构布置合理,文字简练通顺,引用资料应注明参考文献序号。

⑥ 图表:图表应清晰简介,紧随相应的文字说明,并提供中英文的图题和表头。图表内的符号和单位量值采用国际单位制。

⑦ 英文稿件:英文稿件须附相应的中文题名、单位、摘要和图题、表头。国内作者投英文稿件时请随附论文中译稿。

3. 参考文献著录格式

① 执行 GB/T 7714-2015,采用顺序编码制。

② 为便于国际检索,要求提供原文为中文的参考文献的英文题录(无英文的文献由作者译为英语)。

③ 参考文献中外作者的姓名均采用“姓前名后”的格式,最多保留前 3 名作者。英文姓名全部使用大写字母,名可采用首字母简写形式。

4. 作者联系方式:稿末注明准确的联系电话(手机)、电子邮箱,提供邮政地址和邮编信息,以便纸质文件的传递。

详见《贵金属》网站 <http://www.j-preciousmetals.com>