



高长径比高纯纳米银线的制备

王 昀, 陈雪梅

(华东理工大学 超细粉末国家工程研究中心, 上海 200237)

摘 要: 将多元醇还原法和晶种法相结合, 以硝酸银为银源、乙二醇为还原剂和溶剂、聚乙烯吡咯烷酮为生长导向剂, 通过添加氯化铜作为晶型诱导剂引入晶种来制备高长径比高纯纳米银线。探讨晶型诱导剂浓度、PVP 与 AgNO_3 的摩尔比、晶种生长时间以及体系搅拌速度等反应条件对银线形貌的影响。结果表明: 在 170 $^{\circ}\text{C}$ 下, 当 CuCl_2 浓度为 0.15 mmol/L、PVP 与 AgNO_3 的摩尔比为 6:1、晶种生长时间控制为 10 min、搅拌速度为 400 r/min 时, 可制取长度超过 50 μm 、直径介于 80~100 nm、长径比超过 500 的纳米银线。

关键词: 纳米银线; 醇还原法; 长径比

文章编号: 1004-0609(2017)-11-2322-07

中图分类号: TG146.3

文献标志码: A

纳米银线是一种形貌规则、性能稳定的一维金属材料, 其不仅具有金属银固有的优异导电性能, 还被赋予纳米材料小尺寸效应、表面效应、量子尺寸效应等性能, 因此可广泛应用于各种透明导电材料, 为实现柔性、可弯折 LED 显示、触摸屏等提供了可能^[1-2]。相对传统的传统氧化铟锡(ITO)透明导电材料, 纳米银线具有用量低、价格便宜等优势, 被视为是最有可能替代 ITO 的柔性透明导电材料^[3-4]。高长径比纳米银线在搭接导电通路时会产生更少的接触点, 在保证足够导电通路的前提下, 可以让可见光更多地透过材料, 因此从柔性透明材料的透光性和导电性来考虑, 薄膜制备时所添加的纳米银线需要较高的长径比^[5]。

目前, 制备纳米银线的方法有模板法、晶种法、溶剂热法、静电纺丝法、醇还原法等^[6-10]。BARAKAT 等^[11]首先用静电纺丝法制备出超长银纳米线, 该方法制备过程简单、易操作, 且显著增加了银线的长径比, 但是其所制备的纳米线为多晶结构, 存在晶界、位错等缺陷, 其力学性能较差, 不宜用于制备柔性导体。SEOBH 等^[12]通过多次循环法制备的银纳米线, 将每次得到的银线通过清洗和离心制备成晶种, 进行多步循环增长, 制备出高长径比银纳米线, 但是此方法步骤繁琐, 生产工艺时间很长, 难以进行银线的大量合成。为了简化工艺并快速得到大量纯净的纳米银线, 多元醇还原法和晶种法逐渐受到研究者的青睐。

多元醇还原法具有制备工艺简单、产物纯净、原

料易得等优点, 该方法利用乙二醇(EG)还原硝酸银(AgNO_3), 引入聚乙烯吡咯烷酮(PVP)作为生长导向剂制取纳米银线^[13-14], 但是醇还原法制备的银线长径比较低(长度 20~25 μm , 长径比低于 200)。而晶种法则显著提高了纳米银线的长径比, 该方法引入 Pt、Au、Cu 等晶格常数接近 Ag 的金属作为生长晶种来制取银线, 但是, 这些外加金属会存在于最终的产物中难以去除, 影响了银线的透光性能^[15-16]。本文作者将醇还原法和晶种法相结合, 在体系中添加晶型诱导剂 CuCl_2 与溶液中的 AgNO_3 反应生成 AgCl 前驱体, 控制反应条件使 AgCl 转变成晶种并不断吸附体系中的银原子, 从而获得了高长径比高纯的纳米银线。

1 实验

1.1 试剂与仪器

所用试剂如下: 乙二醇(分析纯, 上海凌峰化学试剂有限公司生产); 硝酸银(分析纯, 上海化学试剂有限公司生产); 聚乙烯吡咯烷酮(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司生产); 氯化铜(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司生产); 无水乙醇(分析纯, 上海凌峰化学试剂有限公司生产); 丙酮(分析纯, 上海凌峰化学试剂有限公司生产); 去离子水(实验室自制)。

所用仪器如下: 集热式恒温加热磁力搅拌器

(DF-101s, 巩义市予华仪器有限公司生产); 恒温磁力搅拌器(81-2, 上海司乐仪器厂生产); 分析天平(FA2004A, 上海精天电子仪器有限公司生产); 超速离心机(80-2, 巩义市予华仪器有限责任公司生产); X 射线衍射仪(XRD, D/max2550V); 扫描式电子显微镜(SEM, JSM-6360LV)。

1.2 实验过程

在 170 °C 下, 将 1.998 g PVP(平均相对分子量为 40000)溶于 10 mL 乙二醇后置于 100 mL 三口烧瓶中加热 20 min, 然后将 10 mL 一定浓度的 CuCl_2 和 AgNO_3 乙二醇溶液(保证等摩尔量的 Ag^+ 和 Cl^-)同时快速倒入三口烧瓶中, 在一定搅拌速度下开始晶种的制备, 此过程中, 体系会从乳白色慢慢变成灰色。

当晶种制备进行一定的时间后, 将 10 mL 摩尔浓度为 3 mmol/L 的 AgNO_3 乙二醇溶液快速倒入体系中, 并保证相同的搅拌速度, 反应大约进行 20 min 后结束。

最后, 将反应所得产物在 4000 r/min 转速下离心 30 min, 倒去上层清液, 将下层沉淀分散于无水乙醇中, 并用丙酮和去离子水清洗 3~4 次便可得到纯净的纳米银线。

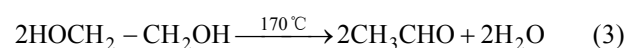
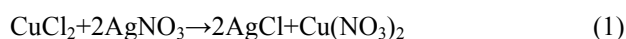
2 结果与分析

2.1 纳米银线形成过程

纳米银线的整个形成过程分为两个阶段: 晶种的形成和银线的定向生长。

1) 晶种的形成

在 PVP 的乙二醇热溶液中, 加入一定浓度的 CuCl_2 和 AgNO_3 反应生成 AgCl , AgCl 随着反应的进行缓慢地释放出 Ag^+ , 同时体系中乙二醇在 170 °C 下不断将 Ag^+ 还原成 Ag 原子。 Ag 原子通过布朗运动不断聚集成 Ag 原子团簇, 当原子团簇数目超过溶液的过饱和浓度时便会缓慢成核形成晶种^[17], 过程如反应式(1)~(4)所示:



2) 银线的定向生长

晶种形成后, 体系中生长导向剂 PVP 分子吸附于

晶种的(100)晶面族上, 只暴露出(111)晶面族, 从而使(111)晶面表面能很高^[18-20]。此时在体系中快速倒入 AgNO_3 银源, 银原子便不断吸附在晶种的(111)晶面上定向生长成高长径比的纳米银线。

2.2 产物的表征

图 1(a)所示为在 CuCl_2 浓度为 0.15 mmol/L, PVP 和 AgNO_3 的摩尔比为 6:1, 晶种生长时间为 10 min, 搅拌速度为 400 r/min 等条件下得到的纳米银线产物的 SEM 像, 由此可以看出本方法制备的纳米银线形貌规整, 尺寸均一, 长度超过 50 μm , 有着较高的长径比。

图 1(b)所示为银线产物的 X 射线衍射谱。图 1(b)可以看到在 $2\theta=38.3^\circ$, 44.4° , 64.5° 和 77.4° 都出现了衍射峰, 分别对应了金属银面心立方结构(FCC)的(111), (200), (220), (311)晶面, 除了金属银的 4 个衍射峰外没有出现其他杂质峰, 说明纳米银线纯度很高。根据图谱可以看出(111)和(200)晶面的衍射强度比约为 4:1, 远大于理论值的 2.5:1, 造成这种现象的原因是纳米银线是沿着(111)晶面进行定向生长。

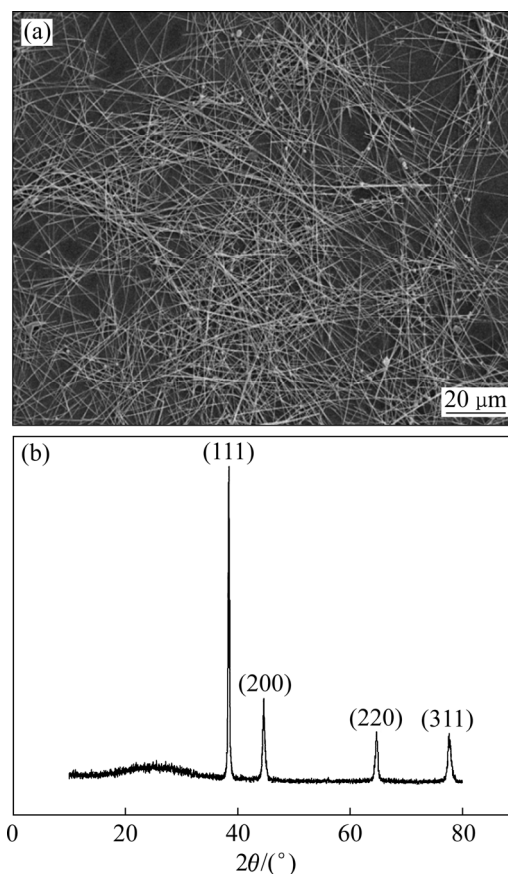


图 1 纳米银线的 SEM 像和 XRD 谱

Fig. 1 SEM image (a) and XRD pattern (b) of AgNWs

2.3 工艺条件对纳米银线形貌的影响

2.3.1 PVP 与 AgNO₃ 的摩尔比

PVP 分子在纳米银线的制备中起到导向的作用,决定着银原子能否定向吸附在晶种上,因此 PVP 的浓度影响着产物的形貌。图 2 所示为不同 PVP 与 AgNO₃ 摩尔比下制备的纳米银线 SEM 像。如图 2(a)所示,当 PVP 与 AgNO₃ 摩尔比为 4:1 时,产物呈现无规则的形貌。随着 PVP 浓度的增加,纳米银线的形貌逐渐变得规整,产物中颗粒的数量减少,银线的长度也逐渐增加。而当 PVP 浓度过高时,纳米银线的长度降低,并在局部出现尺寸较大的颗粒,如图 2(d)所示。

由此可见,调节 PVP 与 AgNO₃ 摩尔比可以有效的控制纳米银线的长径比及形貌。当 PVP 浓度过低时,在体系中包裹晶种的 PVP 分子太少,不足以包覆(100)面,使得晶种侧面也可以吸附银原子,导致纳米银线在单向生长时侧面也在生长,形成无规则的形貌。当 PVP 浓度过高时,晶种表面吸附过量的 PVP 分子,阻碍了晶种与银原子的接触,导致银线长度降低,此外,部分晶种的(111)晶面也被过量 PVP 分子包覆,不能吸附银原子便形成大尺寸颗粒。所以只有合适的 PVP 与 AgNO₃ 摩尔比才能保证纳米银线的单向生长^[21]。

2.3.2 晶型诱导剂的浓度

CuCl₂ 作为晶型诱导剂与 AgNO₃ 反应生成晶种的

前驱体,其浓度对晶种的形成以及最终纳米银线的形貌均有着重要的影响。图 3 所示为添加不同浓度 CuCl₂ 时制备的银线的 SEM 像。由图 3(a)可看出,在没有添加晶型诱导剂的条件下,产物中没有银纳米线的产生,只有较短的纳米棒以及一些无规形貌存在。综合比较图 3(b)~(d)可以看出,随着 CuCl₂ 浓度的增加,产物中纳米银线的形貌趋于规整,长径比逐渐增加。但是当浓度过高时,产物中纳米银线不仅长度降低,并且出现大量小颗粒,影响了产物中银线的含量。

CuCl₂ 晶型诱导剂在制备纳米银线过程中起到两个作用:一方面,提供 Cl⁻ 形成 AgCl 作为晶种形成的前驱体,因此, CuCl₂ 的浓度决定着晶种的数量;另一方面,银线生长过程中,高活性的晶种和银原子表面容易吸附 O₂ 分子,导致二者接触困难, CuCl₂ 可以产生 Cu²⁺/Cu⁺ 离子对去除表面的 O₂,保证了银原子在晶种上的单向生长^[22-24],具体原理可由反应式(5)、(6)描述:



由此可知, CuCl₂ 的浓度对控制纳米银线的纯度和形貌起到重要的作用。当体系中没有添加晶型诱导剂时,此时没有晶种生成,外加银源便会在布朗运动的作用下随意堆积延伸而形成无规则的形状。当 CuCl₂

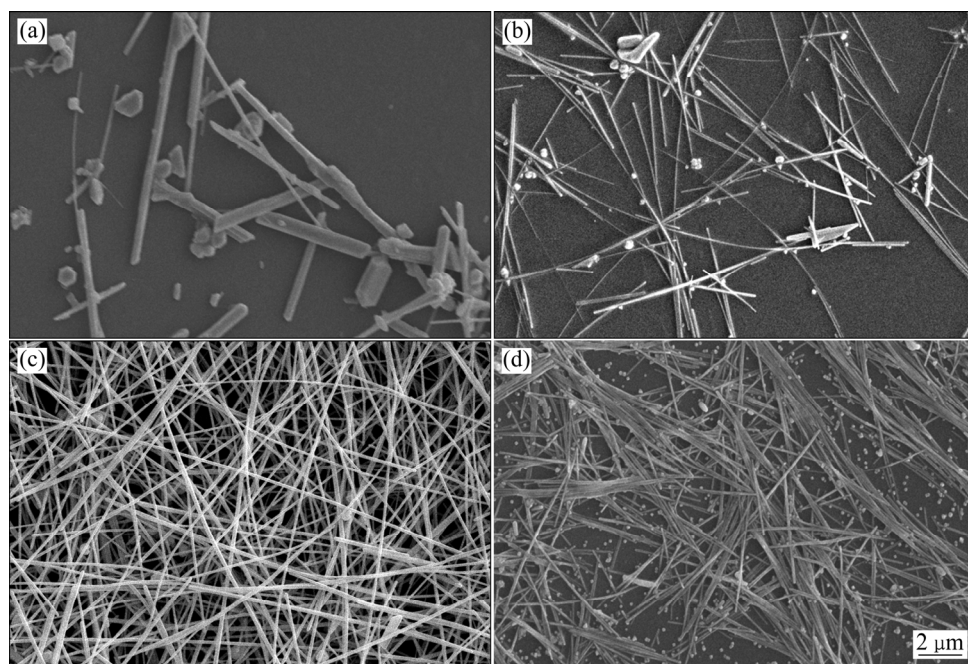


图 2 不同 PVP 和 AgNO₃ 摩尔比制备纳米银线的 SEM 像(CuCl₂ 的浓度为 0.15 mmol/L, 搅拌速度为 400 r/min 以及晶种生长时间为 10 min)

Fig. 2 SEM images of synthesized AgNWs obtained with different molar ratios of PVP to AgNO₃ (concentration of CuCl₂ is 0.15 mmol/L, reaction time of seed is 10 min, and stirring speed is 400 r/min): (a) 4:1; (b) 5:1; (c) 6:1; (d) 7:1

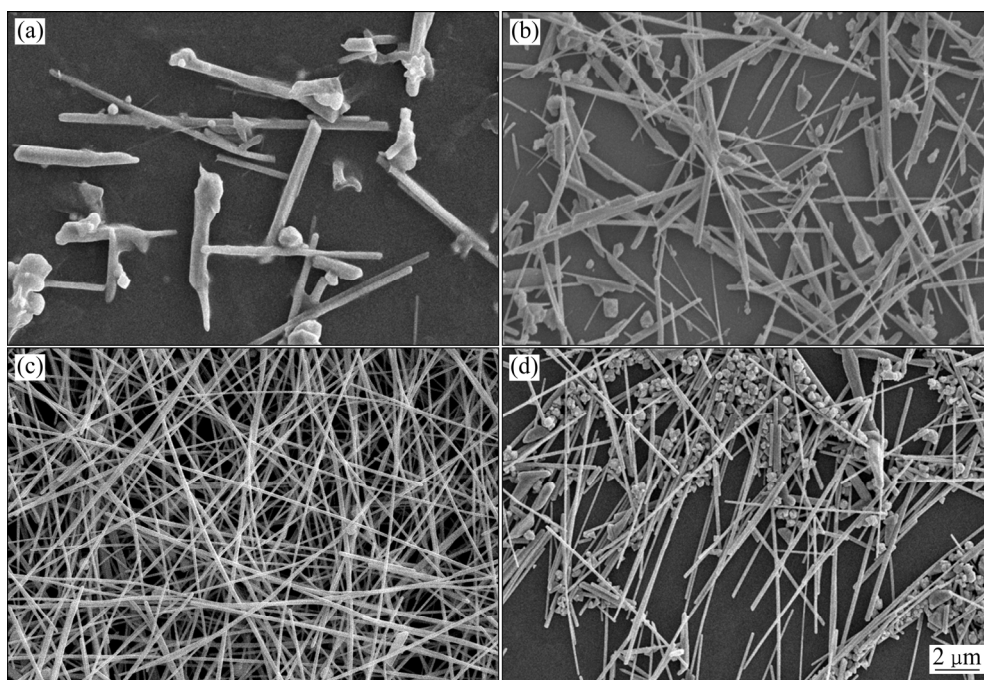


图 3 不同浓度 CuCl_2 生成的银线 SEM 像(PVP 和 AgNO_3 的摩尔比为 6, 搅拌速度为 400 r/min 以及晶种生长时间为 10 min)
Fig. 3 SEM images of purified AgNWs synthesized with different concentrations of CuCl_2 (Mole ratio of PVP to AgNO_3 is 6, reaction time of seed is 10 min, and stirring speed is 400 r/min): (a) 0 mmol/L; (b) 0.8 mmol/L; (c) 0.15 mmol/L; (d) 0.2 mmol/L

的浓度过低时,产生的 $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$ 离子对数量较少,不能完全去除晶种和银原子表面的 O_2 ,阻碍了晶种吸附溶液中的银原子,导致纳米银线的长度较短。而当 CuCl_2 浓度过高时会形成大量的晶种,此时晶种在单向生长过程中缺乏足够的银原子导致银线长度降低,并且过多的晶种容易相互团聚在一起形成小的纳米银颗粒依附在银线上^[25]。因此,只有控制合适的晶型诱导剂浓度才能制备高纯高长径比的纳米银线。

2.3.3 体系搅拌速度

体系的搅拌速度会影响溶液中各反应物质的传递,从而影响到纳米银线的形貌。图 4 所示为不同搅拌速度下得到纳米银线的 SEM 像。由图 4(a)可以看到,当搅拌速度为 0 时,产物中绝大部分结构为直径在 1~4 μm 的无规大颗粒,银线含量很低。随着搅拌速度的增加,制备的纳米银线形貌趋于规整,长径比也随之提高。但是当搅拌速度过高时,虽然得到较高长径比的纳米银线,但是银线上吸附着较大尺寸的颗粒,影响了产物的整体形貌,如图 4(d)所示。

纳米银线生长过程中体系的搅拌速度会影响到溶液中的 O_2 传递和银原子传递,导致银线形貌的差异。当体系的搅拌速度为 0 时,银原子在体系中不能得到很好的扩散,晶种与银原子之间接触困难,局部过量的银原子便相互碰撞聚集成大尺寸的颗粒。随着搅拌

速度的增加,搅拌的均化效果阻碍了银原子在溶液中的剧增^[26],此时晶种与银原子之间充分接触,因此得到的银线产物形貌规整。而太过强烈的搅拌会增加部分晶种与 O_2 的接触, O_2 的吸附导致这些晶种上不能吸附银原子进行单向生长,便会形成小颗粒依附在周围银线上。所以,合适的体系搅拌速度可以避免产物中颗粒的存在,提高银线的纯度。

2.3.4 晶种生长时间

晶种的生长时间对纳米银线的形貌也会产生影响。图 5 所示为不同晶种生长时间得到纳米银线的 SEM 像。从图 5 可以看出,当晶种生长时间在 5 min,所得银线长度聚集在 20~30 μm ,直径介于 150~200 nm,长径比低于 200;当晶种生长时间超过 15 min,银线长径比介于 200~350(长度在 20~30 μm ,直径在 80~100 nm);只有当晶种生长时间在 10 min 左右时,得到的银线长径比高达 500~600(长度介于 50~60 μm ,直径在 80~100 nm)且尺寸最均匀,纯度最高。综合 SEM 像,可以看到当晶种生长时间较短时,银线长度短直径较大,随着晶种生长时间的延长,纳米银线开始慢慢变细长,但当时间超过一定值时,银线的长度开始变短。

晶种生长时间对纳米银线长径比的影响的原因在于晶种的形成需要一定的时间。当晶种生长时间过短

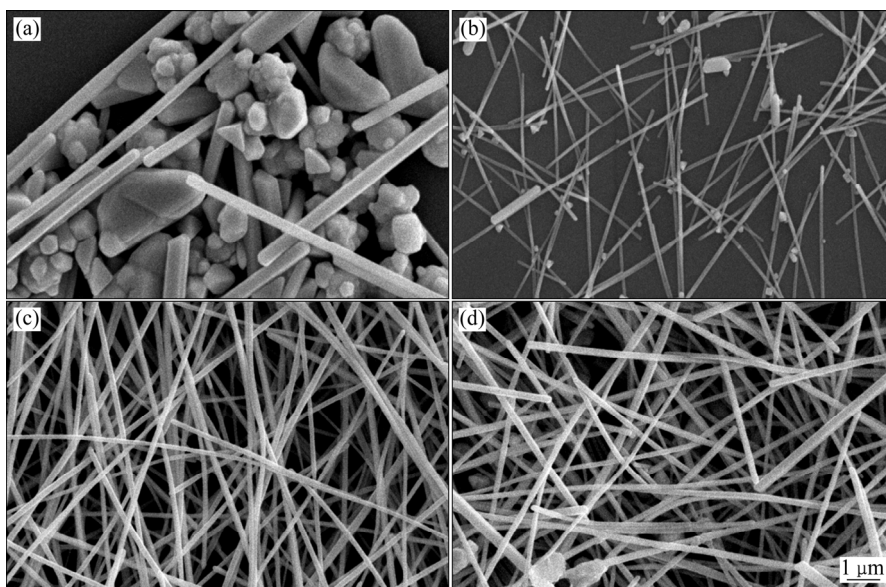


图4 不同搅拌速度下得到银线的SEM像(PVP和AgNO₃的摩尔比为6, CuCl₂的浓度为0.15 mmol/L, 晶种生长时间为10 min)
Fig. 4 SEM images of synthesized AgNWs without stirring (a), stirring at 200 r/min (b), stirring at 400 r/min (c) stirring at 600 r/min (d) (Concentration of CuCl₂ is 0.15 mmol/L, mole ratio of PVP to AgNO₃ is 6, and reaction time of seed is 10 min)

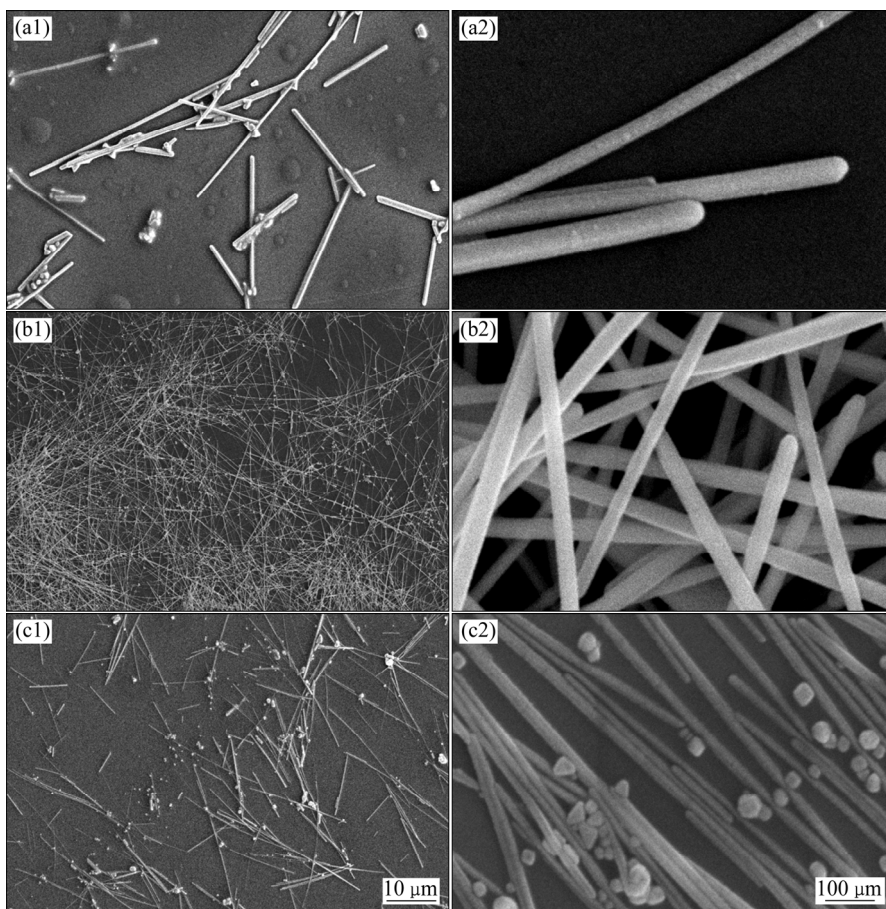


图5 不同晶种生长时间得到银线的SEM像(PVP和AgNO₃的摩尔比为6, CuCl₂的浓度为0.15 mmol/L以及400 r/min的搅拌速度)
Fig. 5 SEM images of synthesized AgNWs obtained with different growing times of seed (concentration of CuCl₂ is 0.15 mmol/L, mole ratio of PVP to AgNO₃ is 6, and stirring speed is 400 r/min): (a1), (a2) 5 min; (b1), (b2) 10 min; (c1), (c2) 15 min

时, 前驱体向晶种的转变还没有完全结束, 此时晶种的尺寸较大并且存在一些未转化成晶种的杂质银核, 因此制备得到的纳米银线呈粗短状, 并且混有大尺寸颗粒。随着晶种生长时间的延长, 晶种转变过程完成, 并且晶种在 PVP 和 $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^{+}$ 离子对的作用下形成小尺寸且稳定的形貌, 可以保证银源在晶种上的单向生长, 因此形成高长径比的纳米银线。但是当晶种时间过长时, 晶种在体系中长时间没有吸附银原子, 便会相互团聚形成小的纳米银颗粒, 影响了产物的整体形貌。

3 结论

1) 结合醇还原法和晶种法制备纳米银线, 不仅显著提高了纳米银线的长径比, 还避免了产物中颗粒, 纳米棒等结构, 提高了纳米银线的纯度。

2) 通过实验找到制备高长径比高纯纳米银线的最佳工艺条件: 在 $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下、当 CuCl_2 浓度为 0.15 mmol/L 、PVP 与 AgNO_3 的摩尔浓度比为 6、晶种生长时间控制为 10 min 、搅拌速度为 400 r/min 时, $10\sim 20\text{ min}$ 就可得到长径比超过 500(直径 80 nm , 长度 $50\text{ }\mu\text{m}$) 且高纯规整的纳米银线。

REFERENCES

- [1] AURANG P, DOGANAY D, BEK A. Silver nanowire networks as transparent top electrodes for silicon solar cells[J]. *Solar Energy*, 2017, 141: 110–117.
- [2] YANG Li-shan, GU Xiao-hu. Controlled synthesis of one-dimensional Au-Ag porous nanostructures[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2014, 24(6): 1807–1812.
- [3] 段莎莎, 张 玲, 李春忠. 银纳米线基柔性导电材料的研究进展[J]. *中国材料进展*, 2016(7): 545–551, 544. DUAN Sha-sha, ZHANG Ling, LI Chun-zhong. Research progress of silver nanowire-based flexible conductive[J]. *Chinese Journal of Materials*, 2016(7): 545–551, 544.
- [4] NISHI N, OKAMOTO Y, OSHITA M. Effects of pulse duration on removal characteristics of silver nanowire transparent conductive film by nanosecond pulsed laser[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2017, 240: 255–261.
- [5] 张雅娟. 常见柔性基底薄膜性能探讨[J]. *河南科技*, 2012, 6(18): 67–119. ZHANG Ya-juan. Discussion on properties of common flexible substrate films[J]. *Henan Science and Technology*, 2012, 6(18): 67–119.
- [6] YANG Rui, SUI Chun-hong, Gong Jian, QU Lun-yu. Silver nanowires prepared by modified AAO template method[J]. *Materials Letters*, 2007, 61(3): 900–903.
- [7] ZHENG Xiao-jun, JIANG Zhi-yuan, XIE Zhao-xiong, ZHANG Shu-hong, MAO Bing-wei, ZHENG Lan-Sun. Growth of silver nanowires by an unconventional electrodeposition without template[J]. *Electrochemistry Communications*, 2007, 9(4): 629–632.
- [8] DUAN Ya-hui, DUAN Yu, CHEN Ping, TAO Ye, TANG Yong-qiang, ZHAO Yi. High-performance flexible Ag nanowire electrode with low-temperature atomic-layer-deposition fabrication of conductive-bridging ZnO film[J]. *Nanoscale Research Letters*, 2015, 10(1): 1–6.
- [9] JANA N R, GEAREART L, MURPHY C J. Wet chemical synthesis of silver nanorods and nanowires of controllable aspect ratio electronic supplementary information (ESI) available: UV-VIS spectra of silver nanorods[J]. *Chemical Communications*, 2001(7): 617–618.
- [10] KYLEE E K, SARA E S, XIA Y N. Rapid synthesis of silver nanowires through a CuCl -or CuCl_2 -mediated polyol process[J]. *Journal of Materials Chemistry*, 2008, 18(4): 437–441.
- [11] BARAKAT N A, WOO K D, KANJWAL M A. Surface plasmon resonances, optical properties, and electrical conductivity thermal hysteresis of silver nanofibers produced by the electrospinning technique[J]. *Langmuir*, 2008, 24(20): 11982–11987.
- [12] SEOBH L S, HWANLKO S. Very long Ag nanowire synthesis and its application in a highly transparent, conductive and flexible metal electrode touch panel[J]. *Nanoscale*, 2012, 4(20): 6408–6414.
- [13] 夏兴达, 杨兵初, 张 祥. 多元醇热法制备银纳米线及其在透明导电薄膜中的应用[J]. *功能材料*, 2016, 47(5): 91–95. XIA Xing-da, YANG Bing-chu, ZHANG Xiang. Preparation of silver nanowires by polyalcohol thermal method and its application in transparent conducting films[J]. *Functional Materials*, 2016, 47(5): 91–95.
- [14] WANG Yong-guang, WANG Xiang-yu, SUN Bo, TANG Shao-chun, MENG Xiang-kang. Concentration-dependent morphology control of Pt-coated-Ag nanowires and effects of bimetallic interfaces on catalytic activity[J]. *Journal of Materials Science & Technology*, 2016, 32(1): 41–47.
- [15] WANG Shang, TIAN Yan-hong, DING Su, HUANG Yi-long. Rapid synthesis of long silver nanowires by controlling concentration of Cu^{2+} ions[J]. *Materials Letters*, 2016, 172: 175–178.
- [16] SCHUETTE W M, BUHRO W E. Silver chloride as a heterogeneous nucleant for the growth of silver nanowires[J]. *ACS Nano*, 2013, 7(5): 3844–3853.
- [17] 易学华. 液态金属铜 Cu 凝固过程中团簇结构的形成以及成核生长特性的模拟[J]. *中国有色金属学报*, 2015(10): 2863–2870. YI Xue-hua. Formation of cluster structure and simulation of

- nuclear growth properties for solidification of liquid Cu[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2015(10): 2863–2870.
- [18] WANG Cheng, CHENG Bai-song, ZHANG Hai-chuan, WAN Peng-bo, LUO Liang, KUANG Yun, SUN Xiao-ming. Probing the seeded protocol for high-concentration preparation of silver nanowires[J]. Nano Research, 2016, 9(5): 1532–1542.
- [19] YAN-Yang, CHEN Ke-bin, LI Hao-ran. Capping effect of reducing agents and surfactants in synthesizing silver nanoplates[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2014 (11): 3732–3738.
- [20] DAE-GON KIMA, JIWAN KIM, SEUNG-BOO JUNG, YOUNG-SUNG KIM, JONG-WOONG KIM. Electrically and mechanically enhanced Ag nanowires-colorless polyimide composite electrode for flexible capacitive sensor[J]. Applied Surface Science, 2016, 380: 223–228.
- [21] 彭勇宜, 徐国钧, 周剑飞. 银纳米线的侧向生长及其抑制研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(6): 1656–1661.
- PENG Yong-yi, XU Guo-jun, ZHOU Jian-fei. Lateral growth of silver nanowires and its inhibition[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2016, 36(6): 1656–1661.
- [22] COBLEY C M, RYCENGA M, ZHOU F, LI Z Y, XIA Y N. Etching and growth: an intertwined pathway to silver nanocrystals with exotic shapes[J]. Angewandte Chemie (International Edition in English), 2009(26).
- [23] WILEY B, HERRICKS T, SUN Y G, XIA Y N. Polyol synthesis of silver nanoparticles: Use of chloride and oxygen to promote the formation of single-crystal, truncated cubes and tetrahedrons[J]. Nano Letters, 2004, 4(9): 1733–1739.
- [24] HWANGA J, SHIMA Y, YOONA S M, LEE S H, PARK S H. Influence of polyvinylpyrrolidone (PVP) capping layer on silver nanowire networks: Theoretical and experimental studies[J]. RSC Advances, 2016, 6(37): 30972–30977.
- [25] XIONG Yu-jie, XIA You-nan. Shape - controlled synthesis of metal nanostructures: The case of palladium[J]. Advanced Materials, 2007, 19(20): 3385–3391.
- [26] AMIRJANI A, MARASHI P, FATMEHSARI D H. The effect of agitation state on polyol synthesis of silver nanowire[J]. International Nano Letters, 2016, 6(1): 41–44.

Preparation of high aspect ratio and high purity silver nanowires

WANG Yun, CHEN Xue-mei

(East China University of Science and Technology,

National Engineering Research Center of Ultrafine Power, Shanghai 200237, China)

Abstract: Silver nanowires (AgNWs) with high aspect ratio and high purity was produced by polyol method combined with seed-growth through employing process with ethylene glycol as solvent and reducing agent, silver nitrate as silver source, polyvinyl pyrrolidone (PVP) as wire-directing agent and copper chloride (CuCl_2) as seed inducer. The effects of the concentration of seed inducer, the molar ratio of polyvinyl pyrrolidone (PVP) to silver nitrate (AgNO_3), time of seed-growth and the stirring rate on the morphology and size of AgNWs were investigated. The results show that AgNWs with length over 50 μm , diameter ranging from 80–100 nm and aspect ratio over 500 are prepared when the concentration of CuCl_2 is 0.15 mmol/L, the molar ratio of PVP to AgNO_3 is 6, the growing time of seed is 10 min and the stirring speed is 400 r/min at 170 $^\circ\text{C}$.

Key words: silver nanowire; polyol process; aspect ratio

Foundation item: Project(222201717010) supported by the Fundamental Research Funds for the Central Universities, China

Received date: 2016-10-12; **Accepted date:** 2017-04-28

Corresponding author: CHEN Xue-mei; Tel: +86-13601845870; E-mail: xmchen@ecust.edu.cn

(编辑 王 超)