

# Preparation of Silver Nanowires by a Solvothermal Method and Their Photocatalytic Performance

Feng Gao, Yi Wu, Jiakuan Yin, Xi Yang, Qing Li\*

School of Materials and Energy, Southwest University, Chongqing  
Email: \*qli@swu.edu.cn

Received: July 28<sup>th</sup>, 2019; accepted: August 12<sup>th</sup>, 2019; published: August 19<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

In this paper, silver nanowires were prepared via a solvothermal method by using ethylene glycol and distilled water as the solvent, polyvinylpyrrolidone (PVP) as the surfactant and NaCl as the control agent, while ethylene glycol also worked as the reducing agent. The structure, morphology and optical property of the product were investigated by powder X-ray diffractometry (XRD), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) and UV-Vis spectrophotometer techniques. It was found that the amount of NaCl and PVP had a significant influence on the morphology of the products. The growth mechanism of the silver nanowires was proposed by analyzing the evolution of the morphology of the product under different reaction time. In addition, the as-prepared silver nanowires were used to degrade methylene blue (MB) under visible light. Such silver nanowires exhibited photocatalytic properties.

## Keywords

Silver Nanowires, Solvothermal Method, Growth Mechanism, Photocatalytic Performance

# 溶剂热法制备银纳米线及其光催化性能研究

高 枫, 吴 毅, 尹佳瑄, 杨 茜, 李 庆\*

西南大学材料与能源学院, 重庆  
Email: \*qli@swu.edu.cn

收稿日期: 2019年7月28日; 录用日期: 2019年8月12日; 发布日期: 2019年8月19日

## 摘 要

本文以乙二醇和去离子水作为溶剂, 同时乙二醇作为还原剂, 聚乙烯吡咯烷酮(PVP)为表面活性剂, NaCl  
\*通讯作者。

为控制剂,通过溶剂热法制备出了银纳米线。分别采用粉末X射线衍射仪(XRD)、扫描电子显微镜(SEM)、能量色散X射线光谱仪(EDX)、紫外-可见分光光度计(UV-Vis)等技术对产物的结构、形貌及光学性能进行了表征。通过对实验条件的探索,发现NaCl以及PVP的用量对于产物的形貌有着显著的影响。通过分析反应过程中不同反应时间下产物形貌的演变,提出了一种银纳米线的生长机理。此外,所制得的银纳米线被用于可见光下降解亚甲基蓝(MB),结果表明该银纳米线具有光催化性能。

## 关键词

银纳米线, 溶剂热法, 生长机理, 光催化性能

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

一维纳米材料有两个维度处于纳米级别,而另外一个维度的尺寸则远远超过这两个维度,其中包括纳米线、纳米棒以及纳米管等等。银纳米线作为一种特殊的一维纳米结构,由于其具有很高的热导率和电导率而被广泛研究[1]。目前,银纳米线已经被应用到了许多领域,如透明导电薄膜[2][3]、抗菌剂[4][5]、光催化降解污染物[6]、表面增强拉曼光谱[7]等等。银纳米线的尺寸以及形貌控制对于其性能来说十分重要,因此研究者们一直在致力于实现银纳米线的可控制备。

近年来,研究人员已经通过各种方法制备出了形貌均匀、产率较高的银纳米线。Yang Yang等人通过微波法制备出了银纳米线并系统地研究了微波功率对于银纳米线形貌演变的影响[8]; Eun-Jong Lee等人通过多元醇法制备出的银纳米线直径和长度分别可被控制在15~30 nm和20 μm [9]; Min-Hwa Chang等人以PVP为表面活性剂,通过离子液法成功制备出了银纳米线[10]; Michał Cwik等人以H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>为还原剂,通过水热法制备出了银纳米线[11]; Dapeng Chen等人则是通过溶剂热法制备了银纳米线并研究了FeCl<sub>3</sub>的加入对于银纳米线生长过程的影响[12]。在这些方法中,溶剂热法由于反应过程易于控制、反应条件温和、产物形貌、尺寸可控等优点而受到广泛研究[13]。但探索简便、环保的制备途径来获得银纳米线仍是一个挑战。

本研究以乙二醇和水作为溶剂,在PVP和NaCl共同的辅助作用下,通过溶剂热法成功制备出了结晶性良好、形貌较为均匀、光学性能优异的银纳米线;通过对反应条件进行探索,发现PVP的用量、NaCl的用量对于产物的形貌有着显著的影响;通过对反应过程中不同反应时间样品形貌的演变进行分析,提出了一种银纳米线的生长机理。此外,在可见光下对产物的光催化性能进行了测试,所得银纳米线对亚甲基蓝具有光催化降解能力。此方法简单易行且绿色环保,可推广至其它贵金属纳米材料的制备。

## 2. 实验部分

### 2.1. 实验材料

无水乙醇(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O, ≥99.7%)和氯化钠(NaCl, ≥99.7%)均购自重庆川东化工有限公司。聚乙烯吡咯烷酮(PVP K30, ≥99.0%)和硝酸银(AgNO<sub>3</sub>, ≥99.8%)均购自成都市科龙化工试剂厂。乙二醇(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>, ≥99.0%)购自无锡市佳妮化工有限公司。实验中用到的去离子水(18 MΩ)为实验室自制。

### 2.2. 银纳米线的制备

以3 ml去离子水溶解0.51 g硝酸银,得到溶液A;将称取的0.5 g PVP、0.01 g氯化钠溶解于60 ml

乙二醇, 得到溶液 B; 将溶液 A、B 混合并搅拌 15 min 后倒入 100 ml 聚四氟乙烯内衬的反应釜中, 并将反应釜移入真空干燥箱中, 升温至 180°C 保温 6 h, 之后随炉冷却至室温后取出反应釜。通过离心收集沉淀物, 沉淀物分别用去离子水和无水乙醇洗涤数次。最后将沉淀物置于干燥箱中于 60°C 下干燥 12 h, 得到粉末备用。

### 2.3. 表征

采用 X 射线衍射仪(XD-3, 北京浦肯野通用仪器有限公司)对制得的银纳米线进行了 X 射线粉末衍射(XRD)表征, 分析条件为: 以 Cu K $\alpha$  射线( $\lambda = 0.15406$  nm)为靶材, 管电压为 40 kV、管电流为 200 mA、扫描速度为 5°/min, 扫描的衍射角范围为 30°~80° (2 $\theta$ ); 利用 JSM-6510LV 型扫描电子显微镜和能量色散 X 射线光谱仪对样品进行形貌分析(SEM)和元素分析(EDX); 使用 Shimadzu U-2550 型紫外-可见分光光度计对样品的紫外-可见吸收光谱进行测试。

### 2.4. 光催化性能测试

本实验中, 在室温下, 通过可见光辐照对有机染料亚甲基蓝(MB)进行降解, 从而来评估所制备银纳米线的光催化性能。首先制备了浓度为 10 mg/L 的亚甲基蓝染料溶液, 然后将 20 mg 所制得的银纳米线样品添加到 100 ml MB 染料溶液中形成分散液。在光照前, 为了保证达到吸附-解吸平衡, 将上述分散液置于黑暗的环境中搅拌 30 min。随后, 将该分散液置于在配备有滤光片( $\lambda \geq 400$  nm)的 300 W 氙灯下边搅拌边辐照。然后, 每 10 min 取出 4 ml 样品溶液, 离心完全将其中的固体光催化剂全部去除, 然后使用紫外-可见分光光度计对 MB 溶液的紫外-可见吸收光谱进行测定。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 晶体结构和形貌分析

首先采用了 X 射线衍射仪对溶剂热法制备的 Ag 纳米线的晶体结构和化学组成进行了表征。图 1 显示了所得到的银纳米线样品的 XRD 图谱。对比标准 PDF 卡片, 图中处的 XRD 图谱中所有的衍射峰与面心立方结构银(JCPDS card No. 04-0783)匹配得很好, 其晶格常数  $a = 0.4086$  nm。其中 38.1°、44.3°、64.4° 和 77.5° 处的衍射峰分别对应与(111)、(200)、(220)、(311)这四个晶面。在 XRD 图谱中并没有发现含有 AgCl 和 NaCl 等其他杂质的衍射峰, 这说明所得产物是高纯度的单质银。图 2(a)显示了所制得样品的 SEM 照片。可以看出, 样品中银纳米线占了绝大部分比例, 其长度在 8~10  $\mu\text{m}$ , 在纳米线的周围夹杂着少许纳米颗粒。图 2(b)显示了所制得样品的 EDX 能谱图。样品的 EDX 能谱图中只出现了 Si 和 Ag 的峰(其中 Si 来源于硅片衬底), 这进一步证实了样品是纯净的单质银。

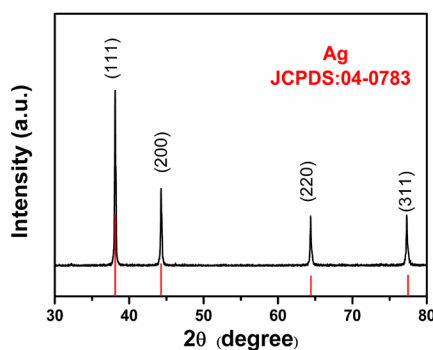
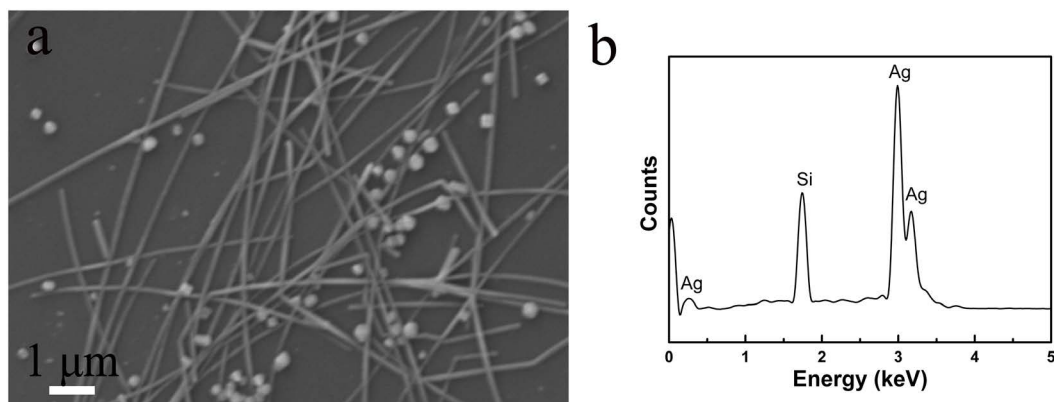


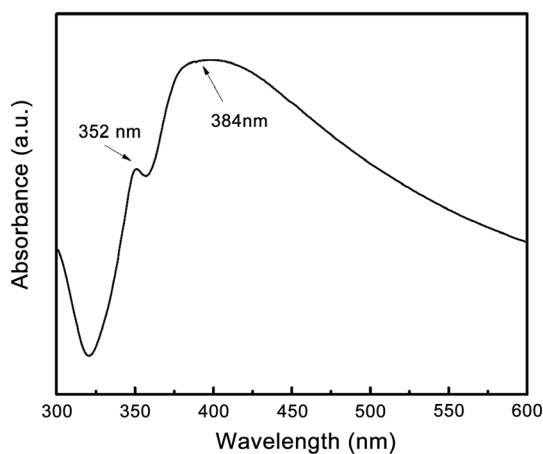
Figure 1. XRD pattern of the sample prepared at 180°C for 6 h  
图 1. 180°C 下反应 6 小时后制得样品的 X 射线衍射图样



**Figure 2.** (a) The SEM image of the as-prepared Ag nanowires; (b) Corresponding EDX spectrum  
**图 2.** (a) 所制备银纳米线的扫描电镜照片; (b) 产物的能谱图

### 3.2. 光学性能分析

图 3 显示了所制得 Ag 纳米线的紫外 - 可见吸收光谱图。从图中可以看到，样品在 384 nm 处有一个明显的主峰，而在 352 nm 处存在着一个肩峰。其中，384 nm 处的峰属于银纳米线的表面等离子体共振产生的横向吸收峰，而 352 nm 处的峰为银纳米线径向的面外四偶极矩共振产生的吸收峰，这与之前的文献报道相接近[14]。在光照射下，金属中的自由电子由交变电场驱动下，与入射光同相地共振振荡，即发生表面等离子体共振(SPR)，对于金属胶体而言，其结果为在紫外可见光谱上出现吸收峰[15]。样品的形貌、尺寸的变化，其吸收峰的位置也随之改变。一维纳米结构存在两个偶极共振，因此在紫外可见吸收光谱中可以观察到两个吸收峰[16]。所得样品的紫外可见吸收光谱仅在 352 nm 和 384 nm 处具有吸收峰，这说明所制得的银纳米线具有良好的光学性能。



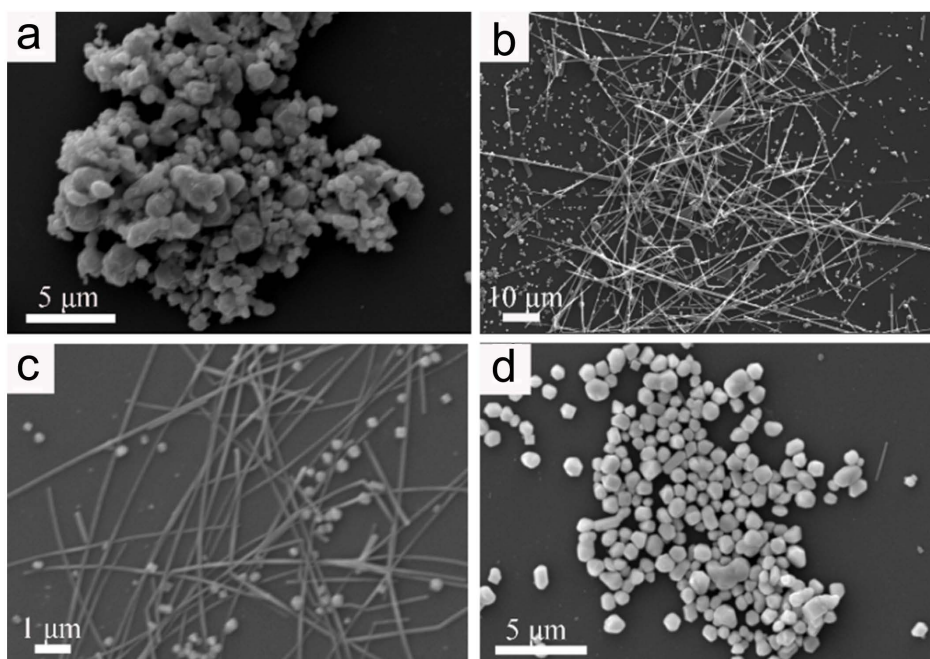
**Figure 3.** UV-visible absorption spectrum of the as-prepared Ag nanowires  
**图 3.** 所制备银纳米线的紫外 - 可见吸收光谱

### 3.3. 反应条件探索

#### 3.3.1. PVP 含量的影响

在其它反应参数不变时，控制 PVP 用量分别为 0 g、0.2 g、0.5 g、2.0 g，从而探索 PVP 用量对产物形貌的影响。如图 4 是不同 PVP 用量下所得样品的 SEM 照片。当没有添加 PVP 时，所制备得到的银纳

米样品分散性很差,且基本都为颗粒状(图 4(a));当加入 PVP 量为 0.2 g 时,得到的样品中,银纳米晶体以纳米线、三角形片、双锥、八面体等形态存在(图 4(b));当加入 PVP 量达到 0.5 g 时,样品中,银纳米晶体绝大多数以线状存在,极少数以颗粒形式存在(图 4(c));当加入 PVP 量增加到 2.0 g 时,银纳米晶体以颗粒状形式存在,且分散性良好(图 4(d))。PVP 作为一种表面活性剂,可以与 Ag 纳米晶体各晶面发生选择性结合,从而使得各晶面的生长速度发生了变化,导致 Ag 晶种各向异性生长现象的发生,其结果是形成银纳米线[17]。

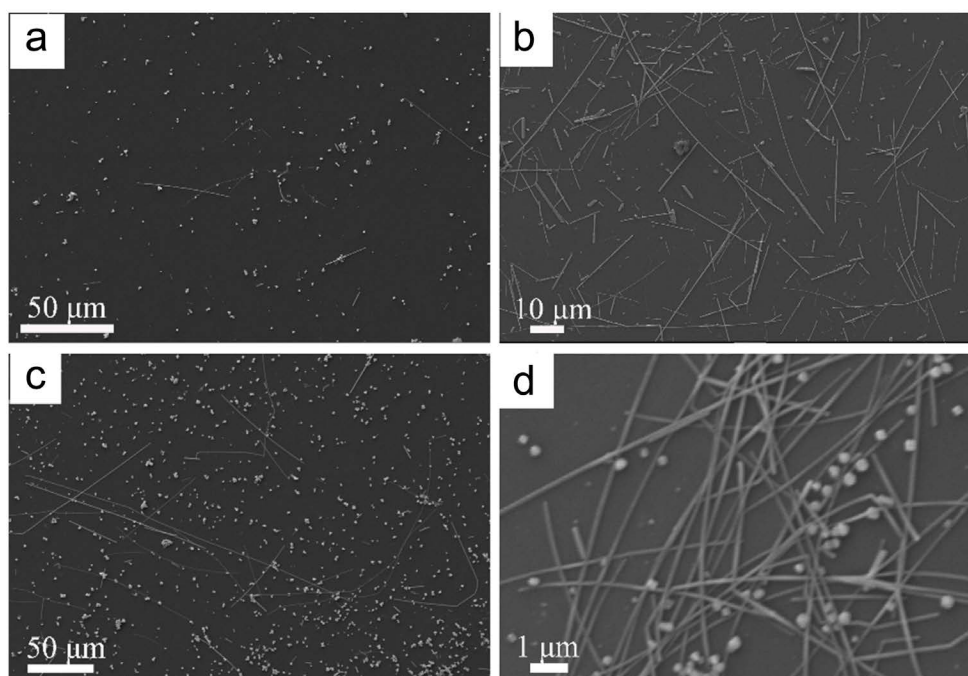


**Figure 4.** SEM images of products obtained at different amounts of PVP: (a) 0 g; (b) 0.2 g; (c) 0.5 g and (d) 2.0 g  
**图 4.** 不同 PVP 用量的条件下所制得样品的 SEM 照片: (a) 0 g; (b) 0.2 g; (c) 0.5 g 和(d) 2.0 g

当没有添加表面活性剂时,在生长过程中 Ag 纳米材料各个晶面上的生长速率基本一致,因此形貌接近球状,又由于没有表面活性剂的分散作用,银纳米晶体趋于团聚以减小表面能。当加入 PVP 量为 0.2 g 时,PVP 量较少,只对部分核起到了封端作用,因而银纳米晶体中有部分表现为线状,没有受到封端作用的核则自由生长。当加入 PVP 量为 0.5 g 时,绝大部分核都受到封端剂的影响,{111}面优先生长,从而使得晶体基本为线状。当 PVP 量增加到 2.0 g 时,此时的封端剂的量充足,失去了对于晶面的选择性,各晶面的生长速率与未加 PVP 时区别不大[18]。

### 3.3.2. NaCl 含量的影响

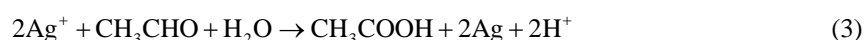
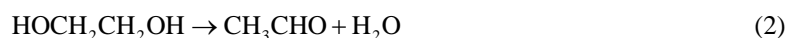
通过改变加入 NaCl 的用量(0 g、0.002 g、0.006 g、0.010 g),探索了 NaCl 的用量对银纳米材料形貌的影响。当未加入 NaCl 时,银多以颗粒形式存在,银纳米线的比例小且长度较短(约 50 μm)(图 5(a));当加入的 NaCl 的量为 0.002 g 时,银纳米线的量占绝对优势,且长度较无氯化钠时长(图 5(b));当加入 NaCl 的量达到 0.006 g 时,银纳米线的比例较无 NaCl 时更多,且银纳米线的长度大幅提升(图 5(c));当加入 NaCl 的量增加到 0.010 g 时,银纳米线的长度较 NaCl 用量为 0.002 g 和 0.006 g 时较短,但此时银纳米线占到了很高的比例(图 5(d))。在反应过程中,NaCl 作为控制剂,Cl<sup>-</sup>与 Ag<sup>+</sup>首先发生反应生成 AgCl,由于沉淀溶解平衡的存在,Ag<sup>+</sup>随着反应的进行又逐渐被缓慢释放出来,从而可以控制反应的缓慢进行,进而影响产物的形貌[19]。



**Figure 5.** SEM images of products obtained at different amounts of NaCl: (a) 0 g; (b) 0.002 g; (c) 0.006 g and (d) 0.010 g  
**图 5.** 不同 NaCl 用量的条件下所制得样品的 SEM 照片: (a) 0 g; (b) 0.002 g; (c) 0.006 g 和(d) 0.010 g

### 3.4. 生长机理研究

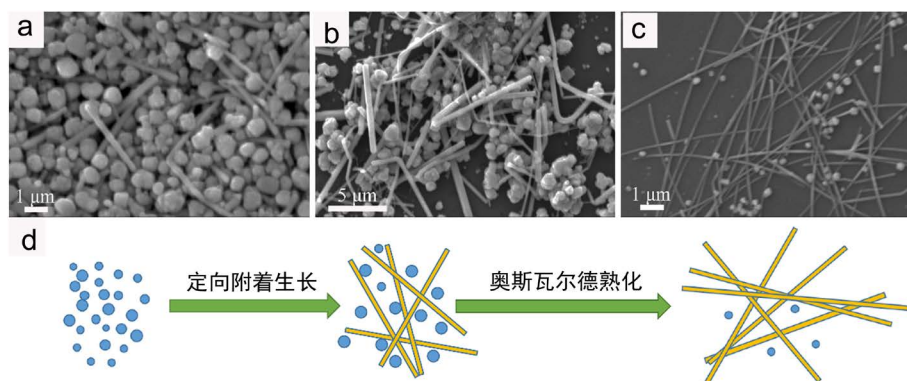
银纳米线形成过程所包含的化学反应方程式如下:



在该反应过程中, NaCl 作为控制剂, 而乙二醇同时充当溶剂和还原剂。溶液中的氯离子首先与银离子反应生成 AgCl 胶体, 随后银离子又通过沉淀溶解平衡被缓慢释放出来。又由于乙二醇在高温下转变为具有强还原性的乙醛, 使得银离子与乙醛反应得到单质银。

为了进一步探索银纳米线的形成机理, 在反应体系中其他参数不变的情况下, 通过改变反应时间得到了不同反应阶段的产物。图 6(a)~(c)为不同反应阶段所得产物的 SEM 照片。当反应时间为 2 h 时, 产物几乎都是银微米球, 其直径接近 1 μm, 其中出现了一些纳米线(图 6(a))。当反应时间延长到 4 h 时, 产物中银纳米线所占的比例大幅增加, 微米球的含量减少(图 6(b))。当反应时间到达 6 h 时, 样品中绝大部分为银纳米线, 但里面仍夹杂着少许纳米球(图 6(c))。

基于以上的实验结果, 我们提出了所得银纳米线的可能形成机理。图 6(d)显示了形成机理的示意图。所得银纳米线的形成过程主要可以分为以下三个阶段: 1) 最初形核: 银离子与乙二醇在高温下的转变产物乙醛发生反应, 在过饱和溶液中形成银的晶核, 随后生长成银纳米颗粒[20]; 2) 定向附着生长: 在 PVP 的导向作用下, 银纳米颗粒彼此附着在一起, 发生定向附着生长, 开始形成纳米线[21]; 3) 奥斯瓦尔德熟化: 根据奥斯瓦尔德熟化机制, 小颗粒表面能较高, 为减小体系的能量, 小颗粒逐渐会溶解并沉积到表面能相对更低的纳米线上。随着时间的延长, 小颗粒不断被消耗银纳米线继续生长。因此纳米线长度不断增加, 小颗粒数目不断减少, 最终样品中绝大部分为银纳米线[22]。

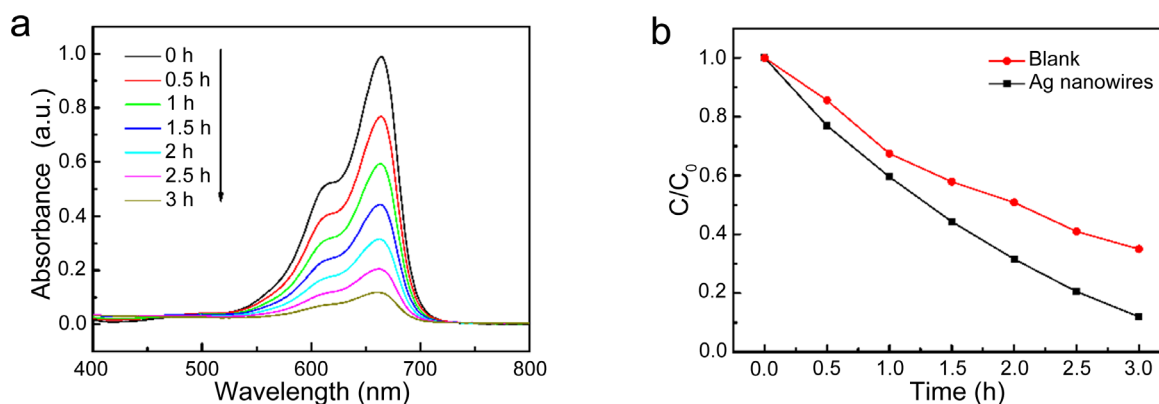


**Figure 6.** SEM images of products obtained at different reaction time: (a) 2 h; (b) 4 h; (c) 6 h and (d) Schematic illustration of the formation process of Ag nanowires

**图 6.** 不同反应时间下制得样品的 SEM 照片: (a) 2 h; (b) 4 h; (c) 6 h 和(d) Ag 纳米线形成过程的示意图

### 3.5. 光催化性能研究

Ag 纳米线光催化的光催化过程可分为三步: 1) 空穴电子对的形成。在可见光照射下, 由于表面等离子体共振效应, 银纳米线最外层的电子受到能量较高的光子的作用被激发到较高的能级, 产生空穴电子对; 2) 氧化性基团的产生。空穴电子对迁移至银纳米线表面, 受激发的电子与溶液中的溶解氧反应生成超氧根离子( $\cdot\text{O}_2^-$ ), 超氧根离子进而与水中氢氧根离子( $\text{OH}^-$ )发生反应产生羟基自由基( $\cdot\text{OH}$ )等强氧化性基团。3) 亚甲基蓝的降解。在羟基自由基等强氧化性基团的作用下, 亚甲基蓝被完全氧化, 降解为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  等各种无污染的无机物。这与以前文献报道类似[23] [24] [25]。



**Figure 7.** (a) The absorption spectra of MB solution in the presence of the as-prepared Ag nanowires at different irradiation time; (b) plots of the degradation rate of MB in aqueous solution against specific time in the presence of Ag nanowires or not

**图 7.** (a)在银纳米线的存在下, 亚甲基蓝溶液在不同光照时间下的紫外-可见吸收光谱; (b)未加入银纳米线和加入银纳米线后亚甲基蓝溶液降解率随时间变化的曲线

不同时间下取样测得的紫外可见吸收光谱如图 7(a)所示。从图中可以看出亚甲基蓝溶液的吸收光谱在 664 nm 处的吸收峰随着反应时间的延长而迅速降低, 并且当光照 3 h 时已达到了非常低的水平。此外, 紫外可见吸收光谱中没有出现到新的峰, 这就说明大部分的亚甲基蓝都被分解。为了排除在光照下亚甲基蓝的自降解对于实验结果的影响, 我们还做了空白组进行对照。图 7(b)中分别为未加入银纳米线和加入了银纳米线后 MB 的降解率随时间变化的曲线。从图中可以看出, 加入 Ag 纳米线后, 亚甲基蓝的降解率得到提升, 这说明所制备的 Ag 纳米线具有光催化性能。

## 4. 结论

本文以乙二醇和水作为溶剂,同时乙二醇作为还原剂,PVP为表面活性剂,NaCl为控制剂,通过溶剂热法成功制备出了银纳米线。产物结晶性好、形貌较均匀、产率高且具有良好的光学性能。研究发现PVP及NaCl用量对于银纳米线的形貌有着显著影响。基于不同反应时间下产物形貌的演变,提出了银纳米线的生长机理。所制得的银纳米线被用于可见光下降解亚甲基蓝(MB),银纳米线显示出光催化性能。该方法简单易行,可推广至其它贵金属纳米材料的制备,所制得的银纳米线在光催化领域具有一定的应用前景。

## 基金项目

感谢西南大学大学生创新创业训练计划(X201910635062, S201910635029, P201910635215),重庆市北碚区基础研究和前沿探索项目(2019-1)和西南大学材料与能源学院“曾苏民杯”科技创新项目(zsm20190622)对本文的资金支持。

## 参考文献

- [1] Wang, Z.H., Liu, J.W., Chen, X.Y., Wan, J.X. and Qian, Y.T. (2005) A Simple Hydrothermal Route to Large-Scale Synthesis of Uniform Silver Nanowires. *Chemistry: A European Journal*, **11**, 160-163. <https://doi.org/10.1002/chem.200400705>
- [2] Li, Y.X., Guo, S.L., Yang, H.W., Chao, Y.X., Jiang, S.Z. and Wang, C. (2018) One-Step Synthesis of Ultra-Long Silver Nanowires of over 100 $\mu\text{m}$  and Their Application in Flexible Transparent Conductive Films. *RSC Advances*, **8**, 8057-8063. <https://doi.org/10.1039/C7RA13683H>
- [3] Shi, Y., He, L., Deng, Q., Liu, Q.X., Li, L.H., Wang, W., Xin, Z.Q. and Liu, R.P. (2019) Synthesis and Applications of Silver Nanowires for Transparent Conductive Films. *Micromachines*, **10**, 330. <https://doi.org/10.3390/mi10050330>
- [4] Alhmod, H., Delalat, B., Ceto, X., Elnathan, R., Cavallaro, A., Vasilev, K. and Voelcker, N.H. (2016) Antibacterial Properties of Silver Dendrite Decorated Silicon Nanowires. *RSC Advances*, **6**, 65976-65987. <https://doi.org/10.1039/C6RA13734B>
- [5] Sharma, D., Rakshana, D.A., Balakrishnan, R.M. and Jagadeesh Babu, P.E. (2019) One Step Synthesis of Silver Nanowires Using Fructose as a Reducing Agent and Its Antibacterial and Antioxidant Analysis. *Materials Research Express*, **6**, Article ID: 075050. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab170a>
- [6] Yazdi, M.E.T., Hamidi, A., Amiri, M.S., Oskuee, R.K., Hosseini, H.A., Hashemzadeh, A. and Darroudi, M. (2019) Eco-Friendly and Plant-Based Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Allium giganteum* and Investigation of Its Bactericidal, Cytotoxicity, and Photocatalytic Effects. *Materials Technology*, **34**, 490-497. <https://doi.org/10.1080/10667857.2019.1583408>
- [7] Zhang, L., Wang, B., Zhu, G. and Zhou, X. (2014) Synthesis of Silver Nanowires as a SERS Substrate for the Detection of Pesticide Thiram. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **133**, 411-416. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.06.054>
- [8] Yang, Y., Hu, Y.Y., Xiong, X.H. and Qin, Y.Z. (2013) Impact of Microwave Power on the Preparation of Silver Nanowires via a Microwave-Assisted Method. *RSC Advances*, **3**, 8431-8436. <https://doi.org/10.1039/c3ra00117b>
- [9] Lee, E.J., Chang, M.H., Kim, Y.S. and Kim, J.Y. (2013) High-Pressure Polyol Synthesis of Ultrathin Silver Nanowires: Electrical and Optical Properties. *APL Materials*, **1**, Article ID: 042118. <https://doi.org/10.1063/1.4826154>
- [10] Chang, M.H., Cho, H.A., Kim, Y.S., Lee, E.J. and Kim, Y.J. (2014) Thin and Long Silver Nanowires Self-Assembled in Ionic Liquids as a Soft Template: Electrical and Optical Properties. *Nanoscale Research Letters*, **9**, 330. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-330>
- [11] Cwik, M., Buczynska, D., Sulowska, K., Rozniecka, E., Mackowski, S. and Niedziolka-Jonsson, J. (2019) Optical Properties of Submillimeter Silver Nanowires Synthesized Using the Hydrothermal Method. *Materials*, **12**, 721. <https://doi.org/10.3390/ma12050721>
- [12] Azani, M.R. and Hassanpour, A. (2019) Synthesis of Silver Nanowires with Controllable Diameter and Simple Tool to Evaluate Their Diameter, Concentration and Yield. *ChemistrySelect*, **4**, 2716-2720. <https://doi.org/10.1002/slct.201900298>
- [13] Chen, D.P., Qiao, X.L., Qiu, X.L., Chen, J.G. and Jiang, R.Z. (2011) Large-Scale Synthesis of Silver Nanowires via a



Solvothermal Method. *Journal of Materials Science-Materials in Electronics*, **22**, 6-13.

<https://doi.org/10.1007/s10854-010-0074-2>

- [14] You, T., Xu, S.L., Sun, S.X. and Song, X.Y. (2009) Controllable Synthesis of Pentagonal Silver Nanowires via a Simple Alcohol-Thermal Method. *Materials Letters*, **63**, 920-922. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2009.01.040>
- [15] Hu, M., Novo, C., Funston, A., Wang, H.N., Staleva, H., Zou, S.L., Mulvaney, P., Xia, Y.N. and Hartland, G.V. (2008) Dark-Field Microscopy Studies of Single Metal Nanoparticles: Understanding the Factors that Influence the Linewidth of the Localized Surface Plasmon Resonance. *Journal of Materials Chemistry*, **18**, 1949-1960. <https://doi.org/10.1039/b714759g>
- [16] Amendola, V., Bakr, O.M. and Stellacci, F. (2010) A Study of the Surface Plasmon Resonance of Silver Nanoparticles by the Discrete Dipole Approximation Method: Effect of Shape, Size, Structure, and Assembly. *Plasmonics*, **5**, 85-97. <https://doi.org/10.1007/s11468-009-9120-4>
- [17] Wang, H., Li, K.B., Xu, C., Xu, S.C. and Li, G.H. (2019) Large-Scale Solvothermal Synthesis of Ag Nanocubes with High SERS Activity. *Journal of Alloys and Compounds*, **772**, 150-156. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.09.043>
- [18] Hwang, J., Shim, Y., Yoon, S.-M., Lee, S.H. and Park, S.-H. (2016) Influence of Polyvinylpyrrolidone (PVP) Capping Layer on Silver Nanowire Networks: Theoretical and Experimental Studies. *RSC Advances*, **6**, 30972-30977. <https://doi.org/10.1039/C5RA28003F>
- [19] Wei, X., Luo, M., Li, W., Yang, L., Liang, X., Xu, L., Kong, P. and Liu, H. (2012) Synthesis of Silver Nanoparticles by Solar Irradiation of Cell-Free *Bacillus amyloliquefaciens* Extracts and AgNO<sub>3</sub>. *Bioresource Technology*, **103**, 273-278. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.09.118>
- [20] Zhang, P., Wyman, I., Hu, J., Lin, S., Zhong, Z., Tu, Y., Huang, Z. and Wei, Y. (2017) Silver Nanowires: Synthesis Technologies, Growth Mechanism and Multifunctional Applications. *Materials Science and Engineering: B*, **223**, 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2017.05.002>
- [21] Zhang, Q., Liu, S.-J. and Yu, S.-H. (2009) Recent Advances in Oriented Attachment Growth and Synthesis of Functional Materials: Concept, Evidence, Mechanism, and Future. *Journal of Materials Chemistry*, **19**, 191-207. <https://doi.org/10.1039/B807760F>
- [22] Roosen, A.R. and Carter, W.C. (1998) Simulations of Microstructural Evolution: Anisotropic Growth and Coarsening. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, **261**, 232-247.
- [23] Parthibavarman, M., Bhuvaneshwari, S., Jayashree, M. and Boopathi Raja, R. (2019) Green Synthesis of Silver (Ag) Nanoparticles Using Extract of Apple and Grape and with Enhanced Visible Light Photocatalytic Activity. *BioNanoScience*, **9**, 423-432. <https://doi.org/10.1007/s12668-019-0605-0>
- [24] Latha, D., Prabu, P., Gnanamoorthy, G., Sampurnam, S., Manikandan, R., Arulvasu, C. and Narayanan, V. (2019) Facile *Justicia dhathoda* Leaf Extract Derived Route to Silver Nanoparticle: Synthesis, Characterization and Its Application in Photocatalytic and Anticancer Activity. *Materials Research Express*, **6**, Article ID: 045003. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aaf828>
- [25] Cittrarasu, V., Balasubramanian, B., Kaliannan, D., Park, S., Maluventhan, V., Kaul, T., Liu, W.C. and Arumugam, M. (2019) Biological Mediated Ag Nanoparticles from *Barleria longiflora* for Antimicrobial Activity and Photocatalytic Degradation Using Methylene Blue. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, **47**, 2424-2430. <https://doi.org/10.1080/21691401.2019.1626407>

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询; 或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7613, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ms@hanspub.org](mailto:ms@hanspub.org)