

文章编号:1673-9981(2008)01-0006-05

纳米银的制备方法及其应用

殷焕顺, 艾仕云, 钱 萍, 汪建民

(山东农业大学化学与材料科学学院, 山东 泰安 271018)

摘 要: 对纳米银的制备方法及其应用的研究进展进行了评述, 对今后的发展趋势进行了展望。

关键词: 纳米材料; 银; 制备; 应用

中图分类号: TQ426.8

文献标识码: A

纳米银材料具有很稳定的物理化学性能, 在电学、光学和催化等方面具有十分优异的性能, 现已广泛应用于陶瓷和环保材料等领域。目前, 纳米银的研究仍是热点, 应用前景较为广阔。

1 纳米银的制备

纳米银的制备方法很多, 分类方法也多种多样, 如可按制备机理、反应条件和反应前驱体类别等进行分类。按制备机理可分为如下方法。

1.1 化学还原法

化学还原法是制备纳米银最常用的方法之一。其原理是硝酸银和硫酸银等银盐与适当的还原剂如锌粉、水合肼、柠檬酸钠等在液相中反应, 将 Ag^+ 还原为 Ag , 并生长为单质银颗粒。用化学还原法制备的纳米银的杂质含量较高, 粒度分布宽, 易团聚。因此, 用化学还原法制备纳米银常需加入分散剂如聚乙二醇、聚乙烯吡咯烷酮、苯胺和甲醛磺酸萘钠盐等来降低银颗粒的团聚。

赵婷等人^[1]用冠醚交联壳聚糖(CTSG)作吸附剂和保护剂, 在水介质中用水合肼还原硝酸银制备了纳米银。在水合肼与硝酸银(浓度均为 0.1 mol/L)的摩尔比为 6:1、CTSG 用量为 0.4 g 和 40 °C 的条件下, 制得粒径 30~40 nm 的银颗粒。

目前, “绿色化学”已逐渐成为化学领域的一个

重要主题。制备金属纳米粒子的绿色化学的关键在于选择对环境友好的化学试剂和无毒的纳米粒子。Raveendran 等人^[2]用可溶性淀粉作模板, 以 β -D-葡萄糖为还原剂, 在水溶液中合成了纳米银粒子。他们认为这是制备金属纳米材料的一种绿色合成方法。Sun 等人^[3]以葡萄糖为原料在水热条件下制备了表面含有大量多糖基团的胶体碳球, 并用这种碳球作模板制备了纳米银颗粒与碳球的核壳结构。

1.2 光还原法

光还原法的机理是通过光照使有机物产生自由基, 还原金属阳离子。Han Minghan 等人^[4]利用不同浓度的 Ag^+ 在 TiO_2 上进行光还原反应, 制备了纳米银载量不同的 Ag/TiO_2 褐色样品, 在 TiO_2 表面的银粒子粒径小于 10 nm。Li 等人^[5]用紫外线照射硫酸银和聚丙烯酸(配位稳定剂和表面活性剂)的混合液, 制成了配位稳定的纳米银颗粒蓝色胶体, 将这些胶体电泳沉积, 制得类似球形的配位稳定的纳米银颗粒沉积体。Zhou 等人^[6]以聚乙烯醇为保护剂, 用紫外光辐照硝酸银溶液, 制得银纳米棒和树枝状纳米晶体。

1.3 电化学法

电化学法具有简单、快速、无污染等优点, 是合成纳米材料的一种有效方法。Zhu J. J. 等人^[7]研究了在超声波辅助作用下, 从含有 EDTA 的 AgNO_3 水溶液中电化学沉积银纳米线。在溶液温度为 30 °C、超声波为 50 Hz 和 100 W 的条件下, 控制沉积电流

收稿日期: 2007-09-11

作者简介: 殷焕顺(1979-), 男, 辽宁大连人, 讲师, 硕士。

不变,可得到直径约 40 nm、长度大于 6 μm 的纳米线;控制阴极电极电位为 -0.3V (相对于 SCE),可得到直径约 80 nm、长度大于 15 μm 的纳米线。廖学红等人^[8-9]用电化学方法以 N' -羧乙基乙二胺- $\text{N}, \text{N}, \text{N}'$ -三乙酸为配位剂,制备出树枝状纳米银。研究发现,配体对纳米粒子的形成起着非常关键的作用,而且在配体存在的条件下用电化学法制备纳米银是一种简单、无污染的方法。同时,他们还用超声电化学方法以 EDTA 为配位剂,用 AgNO_3 溶液制备出两种粒径的类球形和树枝状纳米银。随后,他们又用 10 mA 电流电解 AgNO_3 溶液,在配位剂(1 g 柠檬酸或 0.13 g 半胱氨酸)存在的条件下制备出树枝型纳米银^[10]。

1.4 激光烧蚀法

用激光照射金属表面制备“化学纯净”的金属胶体,即为激光烧蚀法。此法避免了其他方法如化学氧化还原法中电离出的阴离子或阳离子等杂质的影响。

杜勇等人^[11]利用 Nd:YAG 激光器以波长 1064 nm 的激发光照射金属银表面,通过控制光照时间,制备出 5~20 nm 的银胶体粒子。照射时间低于 25 min 时,所制备的胶体粒子为 5~35 nm。在实验过程中很少观测到处于凝聚状态的银胶颗粒,将所制得的银胶体放置数周也未出现聚沉物,说明用该法所制备的银胶体的稳定性较好。

Tsujii Takeshi 等人^[12]用飞秒波长 800 nm 的激光脉冲照射水中的银片制得纳米银胶,后用纳秒激光脉冲照射也制得了纳米银胶。将这两者进行比较发现,用纳秒激光脉冲照射制银胶的效率比用飞秒激光脉冲照射高,而且银胶的分散性较好。另外,无论是飞秒激光脉冲还是纳秒激光脉冲,对空气中银的烧蚀效率都比对水中银的烧蚀效率高。

1.5 化学电镀法

金属纳米线在超大集成电路和光导纤维等领域中有潜在的应用价值。用模板组装的纳米线阵列具有设备简单和成本低廉的特点。王银海等人^[13]以铝阳极氧化形成的有序多孔氧化铝为模板,利用交流电在模板孔洞中沉积银得到纳米银粒子/ Al_2O_3 组装体系。经过分析,交流电能使金属沉积在孔洞中的原因是 $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 界面的整流特性。迟广俊等人^[14]以多孔铝阳极氧化膜($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$)为模板,采用交流电沉积的方法制备了平均长度约 5 μm 、直径 25 nm 的银线,纳米银线在 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ 孔内互相平行,显示

凸凹相间的条纹结构。电子衍射(SAED)证实,该纳米银线为面心立方(FCC)的多晶结构。

1.6 辐射法

在 γ 射线的辐照下,水和乙醇等溶剂可产生具有很强还原能力的溶剂化电子,将金属离子还原成金属单质。利用 γ 射线的这一特点可将溶液中的银离子还原。

陈祖耀等人^[15]在 0.05 mol/L AgNO_3 溶液中加入适量的异丙醇和聚乙烯醇或其它表面活性剂和添加剂,用 7×10^4 居里的 Co^{60} γ -射线源辐照,制得粒径分布比较均匀、平均粒径 10 nm 的银颗粒,其粒子结构形态趋于各向异性树枝状。Zhu 等人^[16]用 γ 射线和水热处理相结合的方法,制备出平均粒径约 8 nm 的银颗粒。熊金钰等人^[17]以硝酸银为银源,聚乙烯醇(PVA)为稳定剂,利用超声波的空化作用,制备出纳米银及其分形生长的有序体。

1.7 微乳液法

该法是将表面活性剂溶解在有机溶剂中,当表面活性剂浓度超过临界胶束浓度(CMC)时,形成亲水极性头向内、疏水有机链向外的液体颗粒结构,其内核可增溶水分子或亲水物质。微乳液一般由表面活性剂、助表面活性剂(一般为脂肪醇)、有机溶剂(一般为烷烃或环烷烃)和水 4 种组分组成。它是一种热力学稳定体系,可合成大小均匀、粒径为 10~20 nm 的液滴。该方法具有装置简单、操作容易、粒子可控、不易团聚等优点。根据油和水的比例,可以将微乳液分为正相(OPW)、反相(WPO)和双连续相微乳液体系,其中 WPO 微乳液体系适用于无机纳米粒子的制备。

路林波等人^[18]将环己烷、异戊醇、十二烷基硫酸钠(SDS)和水以一定比例混合,制成均匀透明、热力学性质稳定的反相微乳液体系。然后将一定浓度的银铵盐和水合肼溶液按等体积分别加入上述反相微乳液中,常温下制得 20~30 nm 黑色纳米银粒子。Rong 等人^[19]用环己烷作溶剂,聚环氧乙烷基壬苯醚作表面活性剂,与银盐水溶液混合制成微乳液及用同样的方法制得 NaBH_4 微乳液。将上述两种乳液混合,当反应进行到一定时间后,离心分离制得纳米银。

1.8 晶种法

这种方法是以前纳米粒子为晶种,在晶种表面用还原剂还原银离子,制得纳米银粒子。在还原过程

中,可通过控制晶种和银离子的比例来控制所制得的银粒子粒径。

邹凯等人^[20]以柠檬酸钠和 NaBH_4 为还原体系还原 AgNO_3 , 制得粒径 $(4 \pm 2) \text{ nm}$ 的银粒子。以该纳米银为晶种制成悬浮液, 将其加入 3 mL 的 1 mmol/L 硝酸银和 2 mmol/L 聚乙烯吡咯烷酮 ($M_w = 58000$) 溶液中, 然后置于 15 W 低压汞灯 ($\lambda = 25317 \text{ nm}$) 下照射 48 h, 可制备出直径 50~120 nm、长度约 50 μm 的银纳米线及树枝状的纳米银。赵彦保等人^[21]用水合肼还原硝酸银, 在聚乙烯吡咯烷酮存在的条件下, 通过控制反应条件制备出粒径均一、有良好分散性的银纳米微粒, 并以此为种子, 在十六烷基三甲基溴化铵的棒状胶束环境中制备出银纳米棒和纳米线。

2 纳米银的应用

2.1 抗菌材料

随着生活水平的提高, 人们对健康安全的生活方式愈来愈关注。研发高效无(低)毒的抗菌剂是一个既有社会意义又有经济意义的课题。银离子具有突出的杀菌效果和安全性, 在无机抗菌剂中常作为抗菌成分。由于银的成本高及银离子的化学性能不稳定, 因此, 影响了其应用。

抗菌陶瓷是一种功能性新材料, 是在制陶的原料中, 特别是在陶瓷釉中加入无机抗菌剂制成。刘维良等人^[22]采用液相共沉淀法制得纳米磷酸锆载 Ag 抗菌粉体材料。当该抗菌剂在日用陶瓷釉中的质量分数达到 2.1% 时, 抗菌陶瓷餐具的抗菌率可达 99.19% 以上, 而且对日用陶瓷的生产工艺、技术性能和微观结构的影响不大, 其性能指标均符合国家日用陶瓷质量标准的要求。

保鲜膜能够控制储藏环境的气体和湿度, 延缓果蔬的采后衰老。利用纳米技术, 可以使常规保鲜膜具备调气、保湿和防霉等多种功效。李喜宏等人^[23]以常规 LDPE 保鲜膜配方的组分为载体, 添加银系纳米材料母粒, 研制出含银粒径 40~70 nm 的防霉保鲜膜, 通过缓释溶出的 Ag^+ 阻止微生物酶的合成。

纳米银对常见的食品污染菌也有抑制作用。刘伟等人^[24]研究了纳米银对几种常见细菌、酵母菌、霉菌等菌种的抑制作用。结果表明, 纳米银对供试菌种有明显的抑制作用; 在试验浓度的条件下, 对革兰氏阳性菌的抑制作用最强, 对革兰氏阴性菌抑制的

作用次之, 对酵母菌和霉菌的抑制作用最弱。在作用时间相同的条件下, 纳米银浓度越高, 抑菌率越高。在纳米银浓度相同的条件下, 作用时间越长, 抑菌率越高。纳米银有良好的热稳定性, 经高温处理后仍然有良好的抑菌效果。

2.2 催化作用

纳米银可以用作多种反应的催化剂。Han Minghan 等人^[4]通过真空蒸镀法制备了用于光催化还原离子的沉积纳米银的 TiO_2 。在蚁酸存在的条件下, 光催化剂 TiO_2 和 Ag/TiO_2 对还原 $\text{Se}(\text{VI})$ 都有效。只是使用没有修饰的 TiO_2 光催化剂时, 在 $\text{Se}(\text{VI})$ 被完全还原为 Se 后, 还需进一步将 Se 还原为以 H_2Se 形式存在的 Se^{2-} 。而使用 Ag/TiO_2 催化剂时, $\text{Se}(\text{VI})$ 被还原为 Se , 同时还生成 H_2Se , 在 $\text{pH} = 3.15$ 时还原率最高。这说明纳米银极大地加强了 Se 粒子的电子强度, 并通过 Se 的自还原生成 H_2Se 。

Li 等人^[25]通过考察纳米级复合催化剂 $\text{Ag}/\text{H-ZSM-S}$ 在 CH_4 选择还原 NO 反应中的活性和选择性发现, 当催化剂中纳米银质量分数高于 7% 时, NO 转化率显著提高。这表明, 分子筛外表面纳米银的存在提高了银催化剂在 CH_4 选择还原 NO 反应中的活性。在聚苯乙烯和聚甲基丙烯酸甲酯的激光离解反应过程中, 加入纳米银粒子后, 导致聚合物炭化, 在界面诱导产生石墨化作用; 同时纳米银粒子与聚甲基丙烯酸甲酯的界面发生反应, 改变了粒子对激光能量的转化方式, 减弱了其激光炭化作用。总之, 纳米银粒子的加入改变了聚合物体系对激光能量的吸收和转换方式, 导致其激光离解发生变化。

2.3 在修饰电极中的应用

纳米银粒子具有比其他纳米粒子更为优异的导电性能和电催化性能。因此, 研究纳米银粒子修饰电极具有重要的意义。

任祥忠等人^[26]采用电化学方法在 AgNO_3 的柠檬酸水溶液中制备了纳米银, 并以所制备的纳米银和接枝酪蛋白为复合载体, 制备了葡萄糖氧化酶电极。该电极的线性响应范围 $1.0 \times 10^{-6} \sim 1.5 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$, 响应时间为 12 s, 并且重现性和选择性好。

李茂国等人^[27]用共价修饰法制备了纳米银修饰的金电极。该修饰电极对灿烂甲酚蓝 (BCB) 的电化学氧化还原有较强的催化作用, 氧化峰电流与

BCB浓度在 $4.0 \times 10^{-7} \sim 2.1 \times 10^{-4}$ mol/L 范围内成线性关系,检出限为 1.5×10^{-8} mol/L. 后来,他们^[28]用经纳米银修饰的玻碳电极进行痕量硫氰根的检测. 在 pH=6.0 的磷酸盐缓冲溶液中,采用示差脉冲伏安法测得,氧化峰电流和硫氰根浓度在 $5.0 \times 10^{-7} \sim 4.0 \times 10^{-4}$ mol/L 范围内成良好的线性关系,检出限为 4.137×10^{-8} mol/L. 将此修饰电极用于测定吸烟和非吸烟人的唾液中痕量硫氰根,结果与光度法测定值基本一致.

2.4 在生物材料方面的应用

基因诊断和生物传感器发展的一大进步就是功能化的纳米银粒子及其相结合的使用. DNA 生物传感器包含了 DNA 探针的生物识别过程与与之相适应的生物亲和力反应的换能器,换能器的功能是将固定化的单链或双链 DNA 杂交信号转换成可识别或能测量的信号. 纳米金和银粒子所产生的局域表面等离子体共振光谱或所具有的电学性能,成为各种新型的、能把生物识别反应转换成放大的光学或电学信号装置的基础.

R. P. Van Duyne 等人^[29]的研究证明:将掩膜上沉积的尺寸和形状均匀的银粒子限定在一个足够大的、间距固定的表面上,可使它们独立起作用,而不是作为一个阵列,并且环绕粒子的介电环境比较容易控制. 他们将小生物分子修饰的三角形纳米银粒子用于病床护理和医学诊断的纳米生物传感器,使其得以进一步发展.

J. Wang 等人^[30]提出了电化学溶出检测 DNA 杂交的间接法:把涂有抗生蛋白链菌素的磁性胶乳微粒连接到 DNA 探针上,在探针同靶核酸杂交之后,再把涂有抗生蛋白链菌素的直径 20 nm 金粒子连接到这个生物共轭靶上,然后将银离子沉积在纳米金粒子上,最后用 HBr-Br₂ 溶解银,并于薄膜碳电极上恒电位溶出测定银而间接求得靶 DNA 量. 该方法能够在 10 L 杂交溶液中(20 min 的杂交连接)检测出 10 pmol 的乳腺癌 DNA 基因片段.

功能化的纳米银粒子具有明显的增强作用和良好的生物相容性,易同 DNA 分子杂交结合. 这些性质成为它们在生物传感器中应用的基础,也为 DNA 计算机的开发带来了光明的前景,是生命科学中分析化学研究的重要组成部分和当今发展的重点领域.

2.5 在光学领域的应用

纳米银可用作表面增强喇曼光谱(SERS)的基

质^[31],实验证明 SERS 的获得与吸附分子的电性和纳米银的表面电性有关. 选取电性合适的纳米银,可以获得较强的 SERS,进而扩大 SERS 的研究范围. 由于纳米银粒子表面等离子体振荡吸收峰附近具有超快的非线性光学响应,科学家发现把纳米银掺杂在半导体或绝缘体中,可获得较大的非线性极化率,利用这一特性可制作光电器件,如光开关、高级光学器件的颜色过滤器等.

3 结论

纳米银的制备方法很多,但各有优缺点. 采用现有的方法,已合成出多种粒径的球形纳米银粒子和各种颜色的纳米银溶胶,也合成出纳米银线和树枝状的具有一定空间结构的银纳米材料等. 随着科技的进步,未来的纳米银生产技术将向成本低、消耗低、污染低的方向发展. 在现有的制备方法中,具有独特的技术和成本优势的生物还原法将可能成为未来纳米银生产技术的突破口,寻找新的对银具有较强还原能力的菌种并优化其还原条件,将是这种新技术的主要发展方向.

参考文献:

- [1] 赵婷,戴红,肖尧,等. 冠醚交联壳聚糖吸附原位还原制备纳米银[J]. 中国皮革,2006,35(9):26-29.
- [2] RAVEENDRAN P, FU J, WALLEN S L. Completely green synthesis and stabilization of metal nanoparticles [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2003, 125:13940-13941.
- [3] SUN X, LI Y. Colloidal carbon spheres and their core/shell structures with noble-metal nanoparticles [J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2004, 43(5): 597-601.
- [4] HAN M H, LIN H F, YUAN Y H, et al. Pressure drop for two phase counter-current flow in a packed column with a novel internal [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2003, 94(3): 171-260.
- [5] LI H X, LIN M Z, HOU J G. Electrophoretic deposition of ligand-stabilized silver nanoparticles synthesized by the process of photochemical reduction [J]. *Journal of Crystal Growth*, 2000, 212: 222-226.
- [6] ZHOU Y, YU S H, WANG C Y, et al. A novel ultraviolet irradiation photoreduction technique for the preparation of single-crystal Ag nanorods and Ag dendrites [J]. *Advanced Materials*, 1999, 11(10): 850-852.

- [7] ZHU J J, QIU Q F, WANG H, et al. Synthesis of silver nanowires by a sonoelectrochemical method[J]. *Inorganic Chemistry Communications*, 2002, 5(3): 242-244.
- [8] 廖学红, 李鑫. 电化学制备纳米银[J]. *黄冈师范学院学报*, 2001, 21(5): 58-59.
- [9] 廖学红, 赵小宁, 邱晓峰, 等. 类球形和树枝状纳米银的超声电化学制备[J]. *南京大学学报: 自然科学版*, 2002, 38(1): 119-123.
- [10] 廖学红, 朱俊杰, 赵小宁, 等. 纳米银的电化学合成[J]. *高等学校化学学报*, 2006, 12(21): 1837-1839.
- [11] 杜勇, 杨小成, 方炎. 激光烧蚀法制备纳米银胶体及其特征研究[J]. *光电子·激光*, 2003, 14(4): 383-386.
- [12] TSUJI T, KAKITA T, TSUJI M. Preparation of nano-size particles of silver with femtosecond laser ablation in water[J]. *Applied Surface Science*, 2003, 206(1-4): 314-320.
- [13] 王银海, 牟季美, 蔡维理, 等. 交流电在 Al_2O_3 模板中沉积金属机理探讨[J]. *物理化学学报*, 2001, 17(2): 116-118.
- [14] 迟广俊, 姚素薇, 范君, 等. 银纳米线的 TEM 表征[J]. *物理化学学报*, 2002, 18(6): 532-535.
- [15] 陈祖耀, 朱英杰, 陈敏, 等. γ -射线辐照制备金属和金属氧化物纳米级超细粉[J]. *化学通报*, 1996(1): 44-45.
- [16] ZHU Y J, QIAN Y T, ZHANG M W, et al. Preparation of nanocrystalline silver powders by γ -ray radiation combined with hydrothermal treatment[J]. *Materials Letters*, 1993, 17: 314-318.
- [17] 熊金钰, 徐国财, 吉小利, 等. 纳米银的超声合成及分形研究[J]. *安徽理工大学学报*, 2004, 24(3): 69-72.
- [18] 路林波, 陈建中, 高绍康, 等. 反相微乳液法制备纳米金属银粉[J]. *福州大学学报*, 2004, 32(2): 208-211.
- [19] RONG M, ZHANG M, LIU H. Synthesis of silver nanoparticles and their self-organization behavior in epoxy resin[J]. *Polymer*, 1999, 40: 6169-6178.
- [20] 邹凯, 张晓宏, 吴世康, 等. 光化学法合成银纳米线及其形成机理的研究[J]. *化学学报*, 2004, 62(18): 1771-1774.
- [21] 赵彦保, 刘锦, 娄云鹏, 等. 银纳米晶体的制备与表征[J]. *化学研究*, 2005, 16(4): 52-54.
- [22] 刘维良, 陈汴琨. 纳米抗菌粉体材料的制备与应用研究[J]. *江苏陶瓷*, 2002, 35(1): 9-12.
- [23] 李喜宏, 陈丽, 关文强, 等. PE/纳米银防腐保鲜膜研制[J]. *食品科学*, 2002, 23(2): 129-132.
- [24] 刘伟, 张子德, 王琦, 等. 纳米银对常见食品污染菌的抑制作用研究[J]. *食品研究与开发*, 2006, 27(5): 135-137.
- [25] LI Z, MARIA F S. On the promotion of Ag-ZSM-5 by cerium for the SCR of NO by methane[J]. *Journal of Catalysis*, 1999, 182: 313-327.
- [26] 任祥忠, 刘剑洪, 张黔玲, 等. 以纳米 Ag 与接枝酪蛋白为复合载体的葡萄糖氧化酶电极的研究[J]. *分析测试学报*, 2005, 24(2): 32-34.
- [27] 高迎春, 李茂国, 王广凤, 等. 银纳米修饰电极的制备及其对灿烂甲酚蓝的催化研究[J]. *分析实验室*, 2004, 23(12): 78-81.
- [28] 李茂国, 王广凤, 高迎春, 等. 纳米银修饰电极对痕量硫氰根的测定[J]. *理化检验-化学分册*, 2005, 41(5): 305-308.
- [29] JENSEN T R, MALINSKY D, HAYNES C L, et al. Nanosphere lithography: tunable localized surface plasmon resonance spectra of silver nanoparticles[J]. *Journal of Physical Chemistry B*, 2000, 104: 10549-10556.
- [30] WANG J, POLSKY R, XU D. Silver-enhanced colloidal gold electrochemical stripping detection of DNA hybridization[J]. *Langmuir*, 2001, 17(19): 5739-5741.
- [31] 司民真, 武荣国, 张鹏翔. 负电性纳米银的制备及性质研究[J]. *化学物理学报*, 2001, 14(4): 465-468.

Preparation methods and application of silver nanomaterial

YIN Huan-shun, AI Shi-yun, QIAN Ping, WANG Jian-min

(College of Chemistry and Material Science, Shandong Agriculture University, Taian 271018, China)

Abstract: Preparation of silver nanomaterial has been the most active field in the metal nanometer materials due to its unique application in recent years. In this paper, recent research advances in the preparation methods of silver nanomaterial, such as chemical reduction, photochemical method, electrochemical method, laser ablation, chemical electroplate, microemulsion method and radiant method are presented. The applications of nanosilver are also prospected.

Key words: nanomaterial; silver; preparation; application