

ICS 71.100.01

G 60



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXX-XXXX

纳米技术 纳米银性能测试方法指南

Nanotechnologies — Guidelines for performance test method of silver nanoparticles

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 符号	2
5 特性和测量方法	2
5.1 总则	3
5.2 粒子的形貌与尺寸	3
5.3 表/界面特性	5
5.4 光学特性	6
5.5 浓度	6
5.6 抗菌性能	7
6 抽样	7
7 试验报告	7
附 录 A（资料性附录）纳米银性能测试示例	9
参考文献	18

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国科学院提出。

本文件由全国纳米技术标准化技术委员会纳米材料分技术委员会（SAC/TC 279/SC 1）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

纳米银材料是一种重要的金属纳米材料，主要形态包括纳米颗粒和纳米纤维^[1,2]，除了具有优异的光、电、磁、热等效应，还具有广谱、高效、低毒的抗菌性能，近年来在导电银浆、抗菌纺织品、抗菌日用品、抗菌卫生产品中得到越来越多的应用^[3,4]。因此，对这些产品中纳米银的性能测试尤为重要。

本标准提供了纳米银主要性能测试方法指南，包括初级粒子尺寸及粒子形貌、水合粒子尺寸及尺寸分布、zeta电位、比表面积、紫外-可见吸收光谱最大吸收峰、总银含量、抗菌率等，并给出了部分测试实例，为纳米银及其它纳米材料的生产、销售、应用及市场监管提供技术支撑。随着测试技术的不断发展，测量方法也将需要定期更新。

纳米技术 纳米银性能测试方法指南

1 范围

本标准提供了纳米银性能测试的方法指南，包括初级粒子尺寸及粒子形貌、水合粒子尺寸及尺寸分布、zeta电位、比表面积、紫外-可见吸收光谱最大吸收峰、总银含量、抗菌率等。

本标准适用于粉末及胶体状的纳米银材料。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 6679 固体化工产品采样通则

GB/T 6680 液体化工产品采样通则。

GB/T 19587 气体吸附BET法测定固态物质比表面积

GB/T 21649.1 粒度分析 图像分析法 第1部分：静态图像分析法

GB/T 23942 化学试剂 电感耦合等离子体原子发射光谱法通则

GB/T 29022 粒度分析 动态光散射法（DLS）

GB/T 30543 纳米技术 单壁碳纳米管的透射电子显微术表征方法

GB/T 30544.4—2019 纳米科技 术语 第4 部分：纳米结构材料

GB/T 32671.2 胶体体系 zeta电位测量方法 第2部分：光学法

GB/T 33834 微束分析 扫描电子显微术 生物试样扫描电子显微镜分析方法

GB/T 36083 纳米技术 纳米银材料 生物学效应相关的理化性质表征指南

GB/T 39486 化学试剂 电感耦合等离子体质谱分析方法通则

GB/T 39630 纳米银胶体溶液

GB/T 39713 精细陶瓷粉体比表面积试验方法 气体吸附BET法

GB/T 42208 纳米技术 多相体系中纳米颗粒粒径测量 透射电镜图像法

HJ 700 水质 65种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法

HJ 776 水质 32种元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法

JY/T 0584 扫描电子显微镜分析方法通则

3 术语和定义

GB/T 30544.4—2019界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

纳米银材料 silver nanomaterials

三维空间尺度至少有一维处于纳米量级（1~100 nm）的单质银材料，其可以粉末形式或分散在溶液中存在。

4 符号

本文件引用的符号见表1。

表1 符号

符号和缩略语	释义
TEM	透射电子显微镜
SEM	扫描电子显微镜
DLS	动态光散射
ELS	电泳光散射
BET	比表面积
ICP-MS	电感耦合等离子体质谱
ICP-AES	电感耦合等离子体发射光谱
UV-vis	紫外-可见吸收光谱

5 特性和测量方法

5.1 总则

纳米银的主要性能包括五个方面：粒子的形貌与尺寸、表/界面特性、光学性质、浓度和抗菌性能。表2给出了纳米银主要性能的测试方法及测量结果释义。随着测试技术的不断发展，测量方法也可能会发生变化。

表2 纳米银主要性能及测试方法

性能	测试方法	单位	测量结果释义	样品状态	参照的测试标准
1) 粒子形貌与尺寸	TEM	nm	初级粒子尺寸及粒子形貌	粉末 ^a 或胶体	GB/T 42208、 GB/T 30543
	SEM			粉末 ^a 或胶体	GB/T 33834、 JY/T 0584
	DLS		水合粒子尺寸及尺寸分布	胶体	GB/T 29022
2) 表/界面特性	ELS	mV	zeta电位	胶体	GB/T 32671.2
	BET	m ² /kg	粒子比表面积	粉末	GB/T 19587、 GB/T 39713
3) 光学性质	UV-vis	a.u.	紫外-可见吸收光谱 最大吸收峰	胶体	GB/T 36083
4) 浓度	ICP-AES	mg/L或	总银含量	粉末或胶体	HJ 776
	ICP-MS	mg/kg		粉末或胶体	HJ 770
5) 抗菌性能	抗菌试验	%	抗菌率	粉末 ^a 或胶体	GB/T 39630
a 粉末样品需要先分散在溶剂中，然后再进行测量，胶体样品可以直接测量。					

5.2 粒子的形貌与尺寸

5.2.1 概述

粒子形貌与尺寸是纳米材料的基本特性，其中粒子尺寸包括初级粒子尺寸和水合粒子

尺寸。纳米银的形貌可用TEM或SEM进行观察，其中初级粒子尺寸采用TEM或SEM进行测量，水合粒子尺寸使用DLS方法进行测量。用户可根据实际情况选择其中一种或多种方法进行测试。

5.2.2 透射电子显微镜（TEM）法

TEM测试方法原理：把经加速和聚集的电子束投射到非常薄的样品上，样本通常是厚度小于100 nm 的超薄切片或网格上的悬浮液。电子与样品中的原子碰撞而改变方向，从而产生立体角散射。由于散射角的大小与样品的密度、厚度等相关，因此可以形成明暗不同的影像，影像被放大、聚焦后在成像器件上显示出来。TEM成像技术分为明场像、暗场像、扫描透射电子显微图像（含高角环形暗场像），需要根据样品情况采用相对应的成像技术，得到透射电镜显微镜图像。

TEM适合于粉末或胶体状样品的测试。纳米银样品参照GB/T 30543方法先获得形貌图像，然后参照GB/T 21649.1或GB/T 42208方法获得样品初级粒子尺寸的平均粒径和粒径分布。

5.2.3 扫描电子显微镜（SEM）法

SEM测试方法原理：由电子枪发射电子，经聚光镜和物镜的逐级会聚，形成具有一定能量和照明强度、束斑直径极细的入射电子束（电子探针），在扫描线圈的作用下，电子束在试样表面作光栅状扫描，通过闪烁体等检测器件接收试样中被激发出的二次电子、背散射电子等信号，把它转成光信号，再经光电倍增管放大并转变成电信号，最后由计算机进行信号数据处理，在显示器上呈现试样表面形貌的电子图像。

SEM适合于粉末或胶体状纳米银样品的测试。纳米银样品参照JY/T 0584方法制备测试样品，然后参照JY/T 0584或GB/T 33834方法进行形貌图像测试，最后参照GB/T 21649.1方法获得样品初级粒子尺寸的平均粒径和粒径分布。

5.2.4 动态光散射法（DLS）法

DLS测试方法原理：悬浮于液体中的颗粒由于与悬浮介质分子的相互作用而持续做不规则的布朗运动。在布朗运动的斯托克斯-爱因斯坦（Stokes-Einstein）理论中，极低浓度下光滑球形颗粒的运动是由悬浮液的黏度、温度以及颗粒大小决定的。因此，若悬浮液温

度和黏度已知，通过测量液体中的颗粒运动，可确定颗粒粒径。DLS技术采用光学的方法探测颗粒运动。悬浮颗粒被相关单色光源照射时，由于悬浮颗粒运动而造成散射位置随时间变化，使得散射光相位也随时间而变化。散射光相位随时间的变化既可以被视为相位移动，也可被视为相对于光源频率的频移。在测量时间内，颗粒随机运动形成了散射光相移分布或光谱频移分布。可通过比较所有的散射光（零差或自由模式）或比较散射光与部分入射光（外差模式）来确定这些偏移。若不考虑光学装置的差异，从颗粒收到的光信号与颗粒的散射效率及散射光强权重有关。

DLS一般适用于静态悬浮液的测量，适合于胶体样品的测试，可以直接得到水合粒子尺寸及其分布情况。DLS测得的水合粒子尺寸通常大于TEM、SEM测得的初级粒子尺寸。纳米银样品的DLS水合粒子尺寸及尺寸分布参照GB/T 29022标准进行测试。

5.3 表/界面特性

5.3.1 zeta 电位

zeta电位是研究颗粒和颗粒表面接触液体的表面性能和吸附性能，用于表征悬浮液和乳液长期稳定性的关键因素之一。zeta电位无法直接测量得到，可由实验测量得到的参数，如电泳迁移率经适当的理论模型计算而获得。

电泳光散射法（ELS）是一种通过散射光的多普勒频移来测量电泳迁移率的zeta电位间接测量方法。在电泳光散射实验中，相干的入射光照射到在外加电场作用下分散液于液体中的颗粒，带电颗粒根据其所带的净电荷符号，朝着阳极或阴极移动。由于多普勒效应，颗粒的散射光频率会随着颗粒运动而发生偏移。从散射光频率偏移的分布，可以得到颗粒的电泳迁移率的分布。电泳光散射提供快速、准确、自动和高度可重复性的电泳谱图，甚至对于复杂的颗粒样品，不论其悬浮于水或非水介质中，都无需要使用标准颗粒进行校准。纳米银的zeta电位可参照GB/T 32671.2中的ELS方法进行测定。

5.3.2 比表面积（BET）

BET测试方法原理：样品通入气体后，其物质表面（颗粒外部和通孔内表面），在低温下将发生物理吸附。只要是通过弱键物理吸附（范德华力）在固体表面，并且在相同温度下通过降低压力可以脱附的任何气体，都可以使用。通常沸点约为77.3 K的氮气是最合

适的吸附气体。将吸附气体导入恒温的容器中，在吸附平衡状态下，测量一定相对压力 p/p_0 条件下，吸附剂对吸附气体的吸附量，对吸附量与相对压力 p/p_0 作图，得到一条吸附等温线。吸附等温线可以用容量法、重量法、色谱法等方法进行测定。通过吸附等温线上的一定范围内的吸附量和相对压力 p/p_0 数据点，根据BET方程式求出单分子层吸附量，进而计算出试样的比表面积。BET的测试方法可以参照GB/T 19587或GB/T 39713方法进行测试。

5.4 光学特性

紫外吸收光谱和可见吸收光谱都属于电子光谱，它们都是由于价电子的跃迁而产生的。利用物质的分子或离子对紫外和可见光的吸收所产生的紫外可见光谱及吸收程度可以对物质的组成、含量和结构进行分析、测定、推断。紫外-可见吸收光谱（UV-vis）最大吸收峰可参考GB/T 36083方法测定。

5.5 浓度

5.5.1 概述

总银浓度的测量可以通过将纳米颗粒消解成离子溶液，用ICP-AES或ICP-MS进行测量。由于纳米银在溶液中易聚沉，建议配制样品前充分涡旋，每一个样品准备至少3个平行样品进行测试，以保证结果的准确性。

5.5.2 样品消解

胶体样品按照一定体积进行取样，粉末样品按照一定质量进行取样。样品置于聚四氟乙烯消解管中，加入浓硝酸进行加热消解，消解液赶酸后用2%的稀硝酸定容至一定体积（宜为10~50 mL，具体视样品而定），得到待测银离子溶液。空白加标样品用于评价系统方法回收率，按上述相同步骤准备全程序空白溶液。

5.5.3 电感耦合等离子体原子发射光谱（ICP-AES）法

ICP-AES是一种用于检测痕量元素的分析技术，其测试原理是试样经雾化器雾化后形成气溶胶，由载气带入等离子体内，在高惰性气体气氛中蒸发、原子化、激发和电离。被测元素的原子或离子被激发时，电子在原子内不同能级跃迁，当由高能态向低能态跃迁时产生特征辐射。通过确定这种特征辐射的波长及其相对强度，对元素进行定性或定量分析。

仪器要求应符合GB/T 23942的规定。测定条件的选择包括待测元素分析谱线、入射功率、观测高度、气体及其流量、溶液提吸速率、分析时间。测定方法包括样品的处理、工作曲线法和标准加入法。待测元素的加标回收率应控制在80%~120%。总银浓度的测定参照 HJ 776方法进行。

5.5.4 电感耦合等离子体质谱（ICP-MS）法

ICP-MS的测试原理是被测样品形成的气溶胶进入高频等离子体炬焰中，在高温下被充分电离，产生的部分离子经过离子透镜等装置后进入质量分离器，质量分离器根据离子的质荷比进行分离。待测元素在一定浓度范围内，其质量数所对应的信号响应值与其浓度成正比，从而实现定性或定量分析。仪器要求应符合GB/T 39486的规定。测定条件的选择包括功率、冷却气流速、辅助气流速、载气流速、采样位置、溶液提升速率、离子透镜参数、质谱测量方式、积分时间、仪器分辨率等。选择的原则是元素信号强、精密度高、干扰少。总银浓度参考HJ 700方法进行测试。

5.6 抗菌性能

抗菌性能是纳米银作为抗菌剂应用中的一个重要技术参数，抗菌性能与纳米银的粒径大小、比表面积、浓度等因素相关，测试方法可参照GB/T 39630 进行。

6 抽样

选择粉末或胶体形式的纳米银材料作为代表性测量样品。粉末和胶体样品的取样分别参照GB/T 6679、GB/T 6680方法进行。由于大多数纳米材料具有反应性，它们的物理和化学性质会受到取样点和储存环境的影响。因此，生产商和最终用户应就采样点和样本存储达成一致，以实现结果的一致性。

7 试验报告

试验报告应至少包括下列内容：

- a) 试样来源及信息；
- b) 使用的标准（包括发布和出版年号）；

- c) 测量所用的方法;
- d) 测试结果;
- e) 测试日期;
- f) 在实验中观察到的异常现象。

附 录 A
(资料性附录)
纳米银性能测试示例

A.1 纳米银材料

纳米银抗菌产品（液体）（样品1）、纳米银胶体（样品2）、纳米银粉（样品3）、纳米银线（样品4）。

A.2 初级粒子尺寸及粒子形貌测定

A.2.1 透射电子显微镜法

A.2.1.1 仪器

透射电子显微镜，加速电压200 kV。

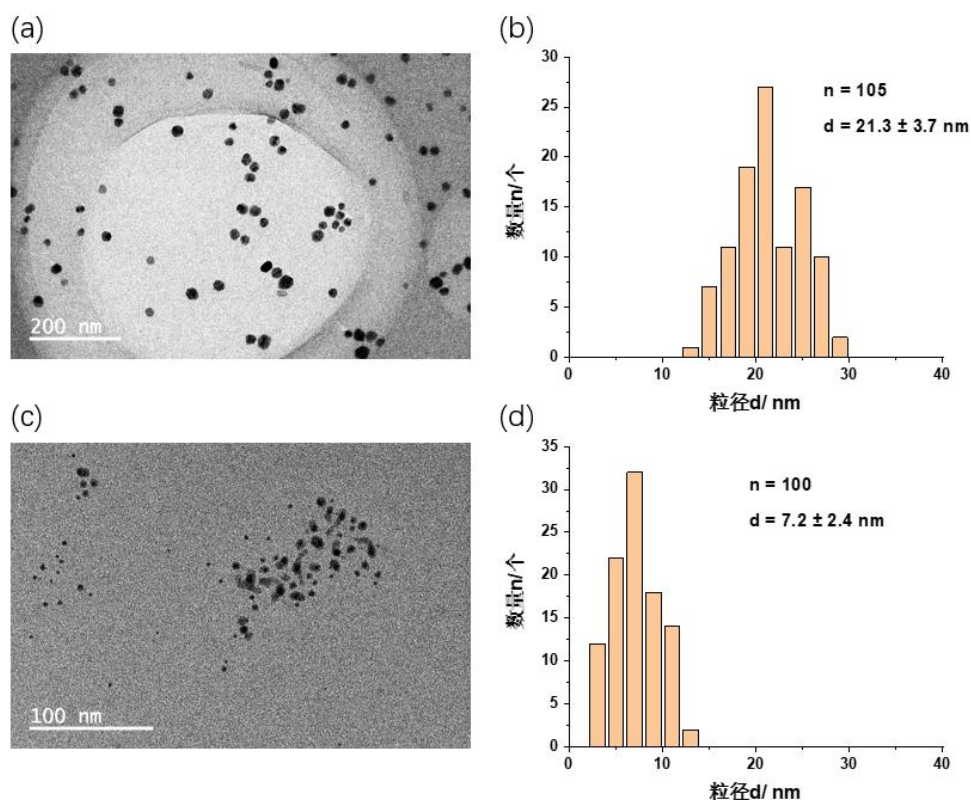
A.2.1.2 样品制备

将样品1用超纯水稀释至 2 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ，超声15 min。将样品2胶体用超纯水稀释至5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的水溶液，超声15 min。

用移液器分别吸取6 μL 上述纳米银样品（样品1和样品2）溶液滴于铜网上，沉降吸附20 min后，用滤纸将多余液体吸走，待铜网自然晾干，用透射电子显微镜观察。

A.2.1.3 结果

透射电子显微镜观察到的纳米银形貌及粒径统计结果如图A.1所示，样品1的平均粒径及粒径分布为 21.3 ± 3.7 nm；样品2的平均粒径及粒径分布为 7.2 ± 2.4 nm。



图A.1 两种纳米银的透射电子显微镜测定结果

(a)、(b)分别为纳米银抗菌产品（液体）（样品1）的TEM照片及其粒径统计结果。(c)、(d)分别为纳米银胶体（样品2）的TEM照片及其粒径统计结果。

A.2.2 扫描电子显微镜法

A.2.2.1 仪器

扫描电子显微镜，加速电压15.0 kV。

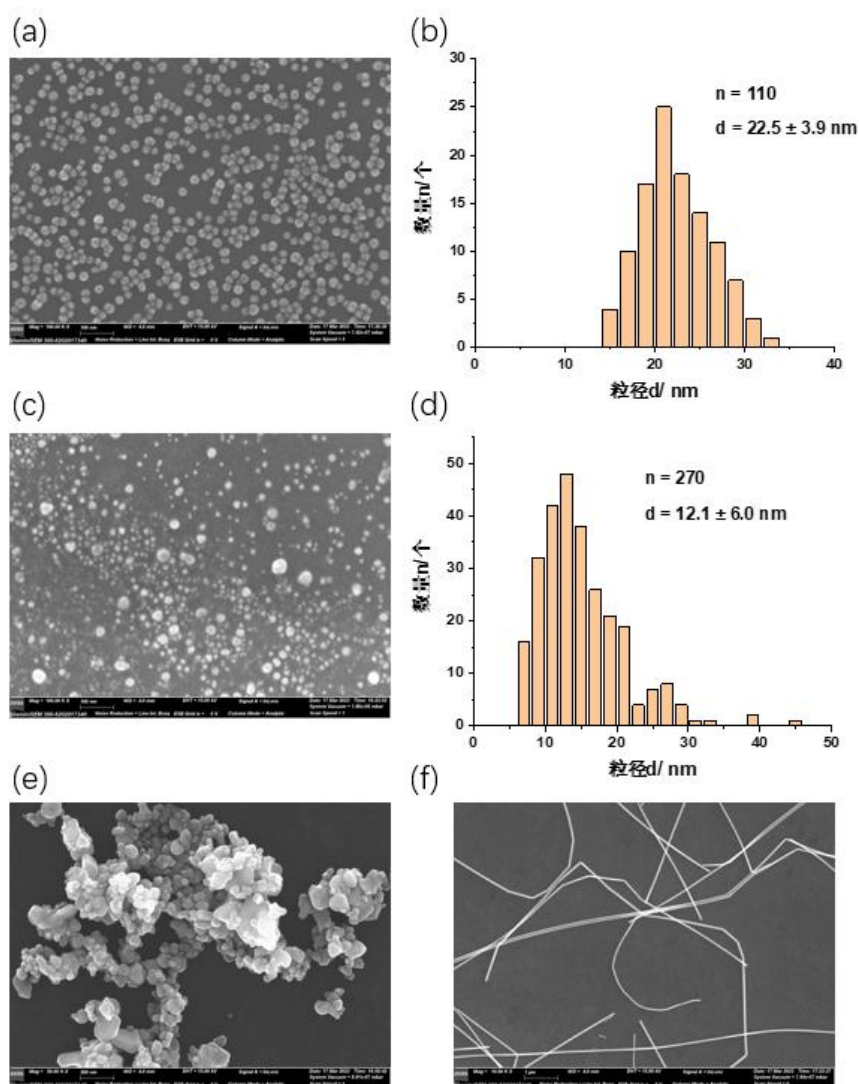
A.2.2.2 样品制备

将样品1溶液用超纯水稀释至约20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ，超声15 min。将样品2胶体用超纯水稀释至50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的水溶液，超声15 min。将样品3纳米银粉分散成约20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的水溶液，超声20分钟。将样品4纳米银线分散成约20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的水溶液，超声15分钟。

用移液器吸取20 μL 纳米银样品溶液滴于硅片基底上，室温下自然晾干，用扫描电子显微镜观察。

B.2.2.3 结果

扫描电子显微镜观察到的纳米银形貌及粒径统计结果如图A.2所示，样品1的粒径比较均匀，为球形结构，平均粒径及粒径分布为 22.5 ± 3.9 nm；样品2为粒径大小不均匀，平均粒径及粒径分布为 12.1 ± 6.0 nm；样品3为纳米聚集体，一个聚集体由多个 < 100 nm的纳米颗粒组成；样品4为典型的纳米线。



图A.2 四种纳米银材料的扫描电子显微镜测定结果

(a)、(b)分别为纳米银抗菌产品（液体）（样品1）的SEM照片及其粒径统计结果；(c)、(d)分别为纳米银胶体（样品2）的SEM照片及其粒径统计结果；(e)、(f)分别为纳米银粉（样品3）和纳米银线（样品4）的SEM照片。

A.1 水合粒径及粒径分布测定

A.3.1 动态光散射法

DLS用于表征粒子的水合半径以及粒子-粒子相互作用。水合直径通常大于TEM、SEM测得的粒径大小。

A.3.1.1 仪器

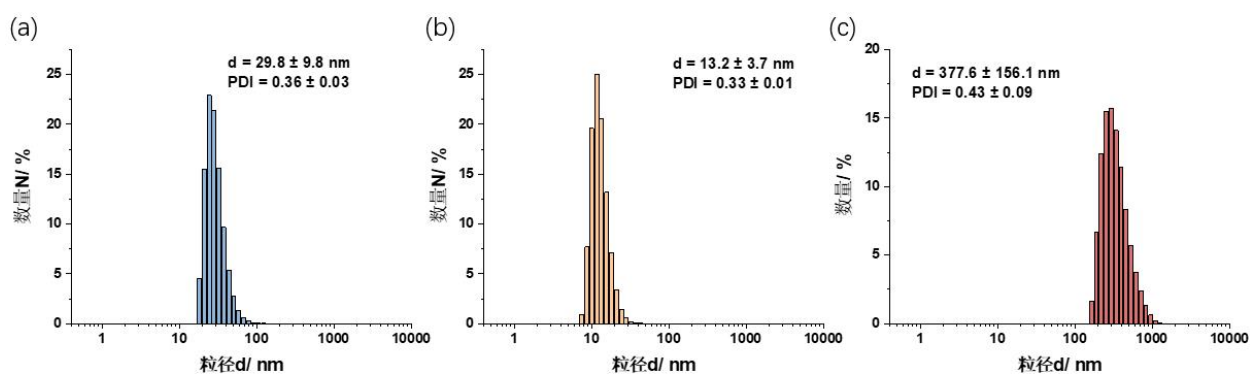
动态光散射仪，超纯水（分散介质）。

A.3.1.2 实验步骤

分别将样品1和样品2用超纯水稀释至 $2\ \mu\text{g/mL}$ 、 $5\ \mu\text{g/mL}$ ，然后超声15 min后作为待测样品。样品3用超纯水分散成 $2\ \mu\text{g/mL}$ 的水溶液，然后超声20 min作为待测样品。分别将三个待测样品加入散射池中进行测试，设定激发波长633 nm、散射角 173° 、平衡时间120 s。每个样品重复测试三次。

A.3.1.3 结果

动态光散射的统计结果如图A.3所示。样品1的平均水合粒径及粒径分布为 $29.8\pm 9.8\ \text{nm}$ ，多分散系数（PDI）为 0.36 ± 0.03 ；样品2的平均水合粒径及粒径分布为 $13.2\pm 3.7\ \text{nm}$ ，多分散系数（PDI）为 0.33 ± 0.01 ；样品3的平均水合粒径及粒径分布为 $377.6\pm 156.1\ \text{nm}$ ，多分散系数（PDI）为 0.43 ± 0.09 。



图A.3 三种纳米银材料的动态光散射测定结果

(a)、(b)、(c)分别为动态光散射法测得的纳米银抗菌产品（液体）（样品1）、纳米银胶体（样品2）和纳米银粉（样品3）的水合粒径分布及统计结果。

A.2 zeta 电位测定

zeta电位值会受到温度、酸碱度、样品浓度和粘度等测量条件的影响。纳米银制备过程使用的稳定剂、封端剂，如柠檬酸盐、聚乙烯吡咯烷酮等也会对zeta电位产生影响。

A.2.1 仪器

粒度仪，超纯水（分散介质）。

A.2.2 实验步骤

分别将样品1和样品2用超纯水稀释至20 $\mu\text{g/mL}$ 、50 $\mu\text{g/mL}$ ，然后超声15 min后作为待测样品，样品3。样品3用超纯水分散成20 $\mu\text{g/mL}$ 的水溶液，然后超声20 min后作为待测样品。分别将三个待测样品溶液加入zeta电位样品池中进行测试，平衡时间120s，每个样品重复测试三次。

A.2.3 结果

样品1：浓度为20 $\mu\text{g/mL}$ ，zeta电位：13.0 \pm 0.2 mV。

样品2：浓度为50 $\mu\text{g/mL}$ ，zeta电位：5.5 \pm 0.6 mV。

样品3：浓度为20 $\mu\text{g/mL}$ ，zeta电位：46.5 \pm 11.6 mV。

A.3 紫外-可见吸收光谱最大吸收峰测定

A.3.1 仪器

紫外-可见分光光度计，超纯水（分散介质）。

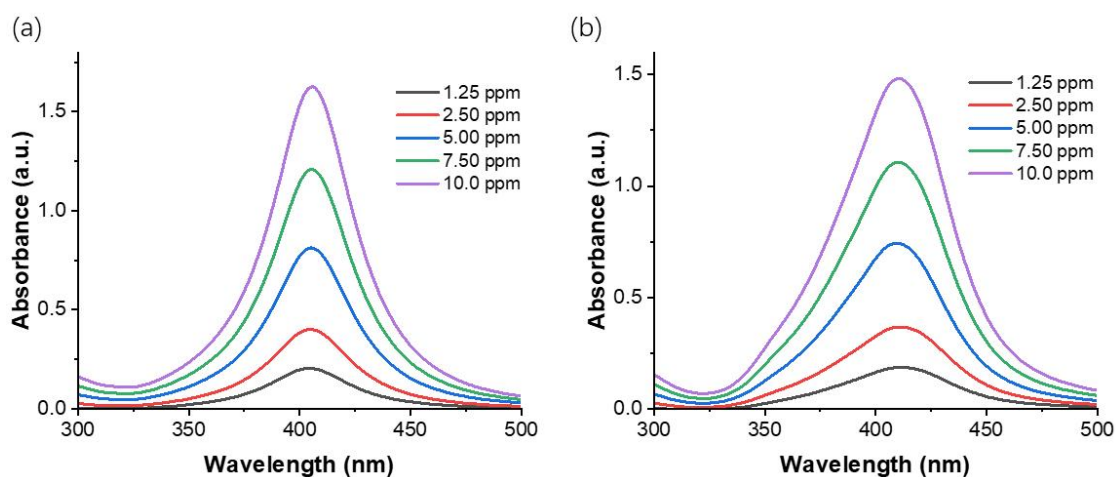
A.3.2 实验步骤

分别将样品1和样品2用超纯水稀释至不同浓度，然后超声15 min后作为待测样品。用移液枪将样品溶液加入到双通石英比色池中，在紫外-可见分光光度计中进行测试。

A.3.3 结果

样品1的紫外-可见吸收光谱，在412 nm处有最大吸收，如图A.4 (a) 所示。

样品2的紫外-可见吸收光谱，在405 nm处有最大吸收，如图A.4 (b)所示。



图A.4 两种纳米银材料的紫外可见吸收光谱最大吸收峰的测定结果

(a) 纳米银抗菌产品（液体）（样品1）；（b）纳米银胶体（样品2）。

A.6 总银含量的测定

A.6.1 电感耦合等离子体原子发射光谱法

A.6.1.1 仪器

电感耦合等离子体发射光谱（ICP-AES）。

A.6.1.2 实验步骤

样品消解：用石墨消解仪在聚四氟乙烯管内进行样品消解。具体地，用移液器吸取纳米银原始溶液100 μL ，加入1 mL浓硝酸，消解参考程序见表A.1。

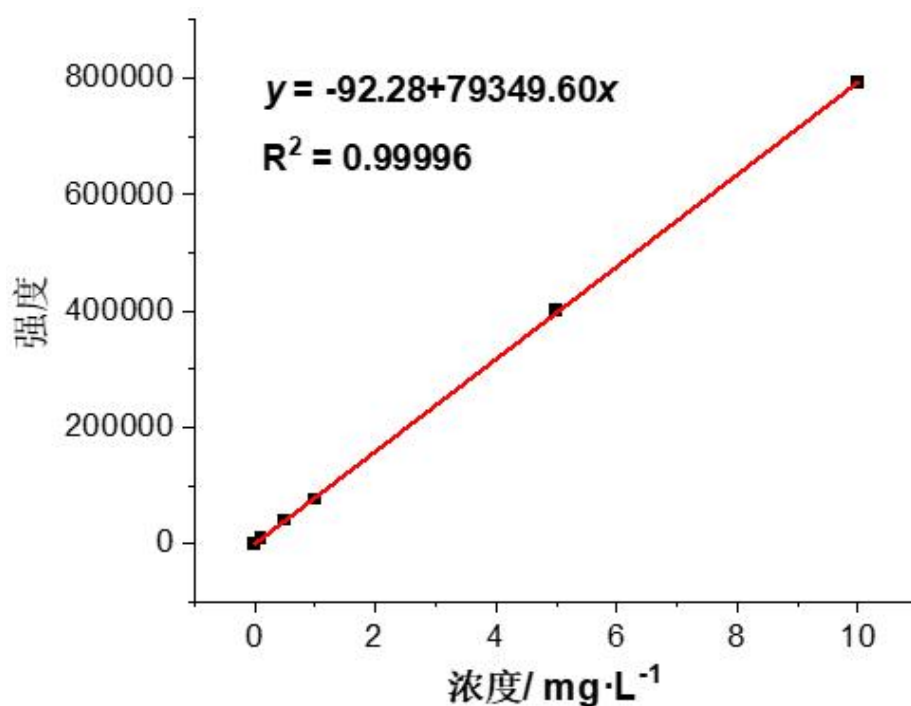
表A.1 纳米银材料消解程序

步骤	升（降）温时间/min	温度/ $^{\circ}\text{C}$	保持时间/ min
1	10	120	10
2	5	160	30
3	5	190	120
4	—	室温	—

消解完成后的样品用2%稀硝酸定容至50 mL，再分别稀释10倍、100倍待测，以保证样品浓度在ICP-AES的优化检测范围内。每个样品准备三个平行样。通过银标准物质溶液分别配置0.1、0.5、1.0、5.0、10 mg/L的标准工作溶液，溶剂为2%稀硝酸，建立标准工作曲线。在ICP-AES测量时，先测量标准曲线，再测试样品。测试结果换算成纳米银溶液的总银含量。

A.6.1.3 结果

银离子标准曲线如图A.5所示，线性方程为 $y = -92.28 + 79349.60x$ ，相关系数 R^2 为0.99996。测得各样品中总银浓度如表A.2所示。样品1的总银浓度为 0.319 ± 0.016 mg/mL。样品2的总银浓度为 0.114 ± 0.005 mg/mL。



图A.5 ICP-AES检测的银离子标准曲线

表A.2 两种纳米银材料的ICP-AES总银浓度测定结果

样品名称		浓度 (mg/mL)	相对标准差 (RSD) (%)	平均浓度 (mg/mL)
样品1	试样1	2.96	2.6	3.19±0.16
	试样2	3.31	1.9	
	试样3	3.30	1.3	
样品2	试样1	1.10	1.8	1.14±0.05
	试样2	1.13	4.6	
	试样3	1.21	5.2	

A.6.2 电感耦合等离子体质谱法

A.6.2.1 仪器

电感耦合等离子体质谱仪 (ICP-MS)。

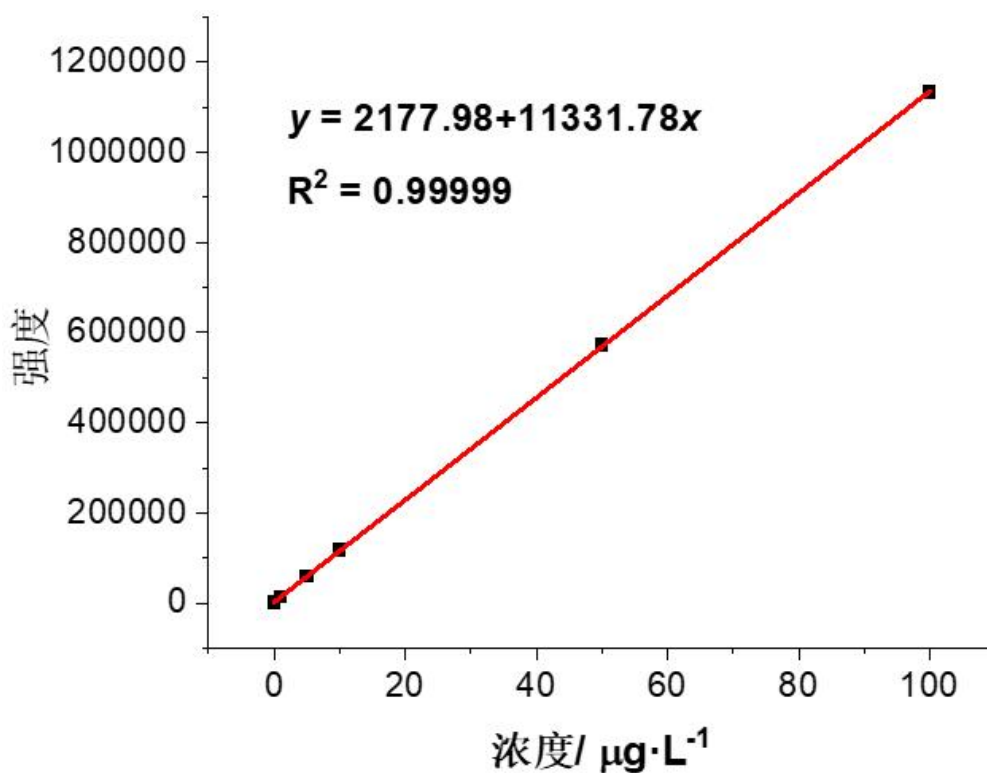
A.6.2.2 实验步骤

样品消解及准备步骤见A.6.1.2。通过银标准物质溶液分别配置1.0、5.0、10.0、50.0、100.0 $\mu\text{g/L}$ 的标准工作溶液，溶剂为2%稀硝酸，建立标准工作曲线。在ICP-MS测量时，先测量标准曲线，再测试样品。测试结果换算成纳米银溶液的总银含量。

A.6.2.3 结果

银离子的ICP-MS标准曲线如图A.6所示，线性方程为 $y = 2177.98 + 11331.78x$ ，相关系数 R^2 为0.99999。

测得各样品中总银浓度如表A.3所示。样品1的总银浓度为 $0.319 \pm 0.016 \text{ mg/mL}$ ；样品2的总银浓度为 $0.114 \pm 0.005 \text{ mg/mL}$ 。



图A.6 ICP-MS检测的银离子标准曲线

表A.3 两种银纳米材料的ICP-MS总银浓度测试结果

样品名称		浓度 (mg/mL)	相对标准差 (RSD) (%)	平均浓度 (mg/mL)
样品1	试样1	3.21	0.8	3.29±0.06
	试样2	3.32	3.5	
	试样3	3.34	1.4	
样品2	试样1	1.01	7.1	1.02±0.01
	试样2	1.02	1.5	
	试样3	1.03	2.0	

参考文献

- [1] S. Agnihotri, S. Mukherji, S. Mukherji, Size-controlled silver nanoparticles synthesized over the range 5-100 nm using the same protocol and their antibacterial efficacy, *Rsc Advances*, 4(8) (2014) 3974-3983.
- [2] S. Lin, X.P. Bai, H.Y. Wang, H.L. Wang, J.N. Song, K. Huang, C. Wang, N. Wang, B. Li, M. Lei, H. Wu, Roll-to-Roll Production of Transparent Silver-Nanofiber-Network Electrodes for Flexible Electrochromic Smart Windows, *Advanced Materials*, 29(41) (2017) 1703238.
- [3] S. Ahmed, M. Ahmad, B.L. Swami, S. Ikram, A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: A green expertise, *Journal of Advanced Research*, 7(1) (2016) 17-28.
- [4] G. Franci, A. Falanga, S. Galdiero, L. Palomba, M. Rai, G. Morelli, M. Galdiero, Silver Nanoparticles as Potential Antibacterial Agents, *Molecules* 20(5) (2015) 8856-8874.
- [5] H.E. Pace, N.J. Rogers, C. Jarolimek, V.A. Coleman, C.P. Higgins, J.F. Ranville, Determining Transport Efficiency for the Purpose of Counting and Sizing Nanoparticles via Single Particle Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, *Analytical Chemistry*, 83(24) (2011) 9361-9369.