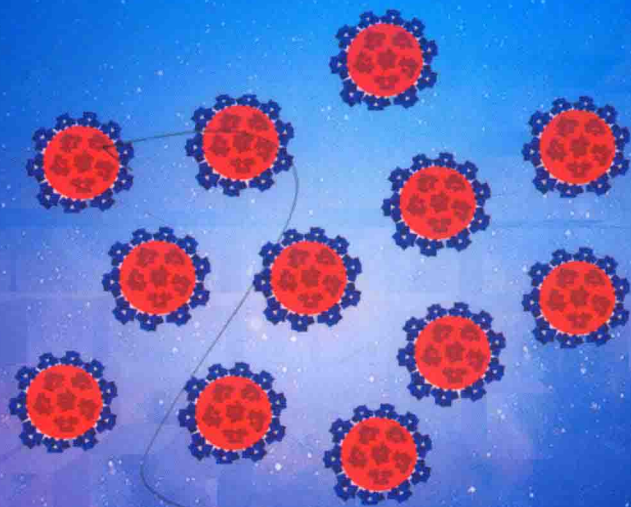


多金属氧酸盐修饰的 贵金属纳米材料的制备及性质研究

谭荣欣 著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

多金属氧酸盐修饰的贵金属 纳米材料的制备及性质研究

谭荣欣 著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2019

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了利用多金属氧酸盐作还原剂、配位剂/包覆剂以及稳定剂合成贵金属纳米粒子的方法,包括 Au/Ag/Pd/Pt@POM 四类纳米粒子的具体合成方法,同时还介绍了它们在相关领域的卓越性质。本书对多金属氧酸盐修饰的贵金属纳米材料的合成及性质研究具有指导意义。

本书既可作为综合性大学、高等师范院校化学类、近化学类等专业的本科生或研究生在多酸化学及纳米材料化学方面的选修教材,也可作为其他相关专业的教学参考用书以及相关领域科研工作者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

多金属氧酸盐修饰的贵金属纳米材料的制备及性质研究/
谭荣欣著. —北京:冶金工业出版社, 2019. 7

ISBN 978-7-5024-8166-7

I. ①多… II. ①谭… III. ①贵金属—纳米材料—研究
IV. ①TB383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 144760 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 夏小雪 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-8166-7

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2019 年 7 月第 1 版,2019 年 7 月第 1 次印刷

169mm×239mm;11 印张;211 千字;163 页

49.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

最近几年，利用多金属氧酸盐作还原剂、配位剂/包覆剂以及稳定剂所合成的贵金属纳米结构，因多金属氧酸盐与贵金属纳米粒子二者之间的协同作用可以产生诸如催化（包括光催化、电催化）、表面拉曼等性质增强效应而受到越来越多的关注。尤其是多金属氧酸盐的性质可调及其在贵金属表面的自组装能力令其所合成的复合纳米材料在各个相关领域（光、电、磁、催化、医疗等）可能产生令人着迷的应用潜力，更是吸引着无数科研工作者的研究热情。各种相关的出版物、专利层出不穷，使得这一领域呈现蓬勃发展之势。在这个领域，人们所追求的目标是那些步骤简单、反应条件温和、绿色、环保、能合成性质卓越的贵金属纳米粒子的方法，其中，最适合用于这类方法的多金属氧酸盐是还原型、高负电荷的杂多阴离子，这些杂多阴离子可以同时充当还原剂、配位剂、稳定剂和光催化剂等多种角色。

本书共分十章，系统、详细地介绍了几种有代表性的多金属氧酸盐还原/包覆/修饰的贵金属纳米结构的合成，包括 Au/Ag/Pd/Pt@POM 四类纳米粒子的具体合成方法，并同时介绍了它们在相关领域的卓越性质，对多金属氧酸盐修饰的贵金属纳米材料的合成及性质研究具有指导意义。本书既可作为综合性大学、高等师范院校化学类、近化学类等专业的本科生或研究生在多酸化学及纳米材料化学方面的选修教材，也可作为其他相关专业的教学参考书以及相关领域科研工作者的参考用书，满足了相关领域

广大师生及科研工作者的参考需求。

本书的出版得到了黑龙江省教育厅备案项目（1351MSYYB005）和牡丹江师范学院省级重点创新预研项目（SY2014002）的支持。

限于本书作者学识有限，疏漏和不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

著 者

2019年4月

目 录

1 绪论	1
1.1 金纳米粒子简介	1
1.1.1 金纳米粒子的结构	2
1.1.2 金纳米粒子的性质	3
1.1.3 金纳米粒子的制备方法	4
1.2 银纳米粒子简介	5
1.2.1 银纳米粒子的制备方法	6
1.2.2 银纳米粒子的应用	7
1.3 其他贵金属纳米粒子简介	10
1.3.1 铂纳米粒子	10
1.3.2 钯纳米粒子	11
1.4 多金属氧酸盐简介	14
1.4.1 多金属氧酸盐的形成	15
1.4.2 多金属氧酸盐的发展	15
1.4.3 多金属氧酸盐的结构	18
1.4.4 Keggin 型多金属氧酸盐的应用	20
1.5 多金属氧酸盐修饰的贵金属纳米材料	22
参考文献	23
2 Keggin 结构非还原型多金属氧酸盐 SiW_9 包覆的金纳米粒子的合成	37
2.1 引言	37
2.2 实验部分	38
2.2.1 试剂	38
2.2.2 仪器	38
2.3 结果与讨论	39
2.3.1 SiW_9 包覆的球形金纳米粒子的制备	39
2.3.2 SiW_9 的配体作用对金纳米粒子的尺寸调控机制	39
2.3.3 溶液的 pH 值对合成金纳米粒子的影响	47

2.3.4 还原剂 AA 对合成金纳米粒子的影响	49
2.4 小结	52
参考文献	53
3 Keggin 结构还原型多金属氧酸盐 SbW_9、SbW_9Co_3 包覆的金纳米结构的合成	57
3.1 引言	57
3.2 实验部分	58
3.2.1 试剂	58
3.2.2 仪器	58
3.3 缺位型 SbW_9 包覆的金纳米结构	58
3.3.1 合成	58
3.3.2 结果与讨论	59
3.4 饱和型 SbW_9Co_3 包覆的金纳米结构	63
3.4.1 合成	63
3.4.2 结果与讨论	64
3.5 小结	66
参考文献	66
4 Keggin 型多金属氧酸盐包覆的金纳米结构的自然光催化活性	69
4.1 引言	69
4.2 实验部分	71
4.2.1 试剂	71
4.2.2 仪器	71
4.3 结果与讨论	72
4.3.1 催化剂的制备	72
4.3.2 光催化实验方法	72
4.3.3 曙红 Y 的结构	72
4.3.4 曙红 Y 的标准工作曲线	73
4.3.5 Keggin 型多金属氧酸盐的包覆对金纳米结构的光催化增强	73
4.3.6 SiW_9 包覆的金纳米粒子的光催化活性	78
4.3.7 SbW_9 包覆的金纳米结构的形貌对光催化活性的影响	79
4.3.8 POM 包覆的比例对金纳米结构的光催化活性的影响	80
4.3.9 POM 包覆剂的物种对光催化活性的影响	83
4.3.10 催化剂浓度对光催化活性的影响	84

4.4 小结	84
参考文献	85
5 多金属氧酸盐 β-[H₄PMo₁₂O₄₀]³⁻ 修饰的金纳米粒子的合成	87
5.1 引言	87
5.2 实验部分	88
5.2.1 仪器	88
5.2.2 合成	88
5.3 结果与讨论	88
5.3.1 γ 值对金纳米结构的影响	89
5.3.2 C _{POM} ⁰ 对金纳米结构的影响	94
5.3.3 与 [AuCl ₄] ⁻ /柠檬酸钠体系的对比分析	98
5.4 小结	99
参考文献	100
6 混合价的 Mo^V-Mo^{VI} 多金属氧酸盐包覆的银纳米结构的合成	104
6.1 引言	104
6.2 实验部分	104
6.2.1 合成方法	104
6.2.2 结果与讨论	105
6.3 小结	109
参考文献	109
7 Keggin 型多金属氧酸盐还原的 Au-Ag 核-壳纳米粒子的合成	112
7.1 引言	112
7.2 实验部分	112
7.2.1 仪器分析	112
7.2.2 Au 核的形成	113
7.2.3 Ag 壳的形成	114
7.2.4 Au-Ag 核-壳纳米粒子的表征	115
7.3 小结	116
参考文献	116
8 多金属氧酸盐辅助电还原的 Ag@POM 树枝状纳米结构的合成	118
8.1 引言	118

8.2 实验部分	119
8.2.1 材料	119
8.2.2 合成	119
8.2.3 用于 SERS 测定的银纳米枝上 RhB 的吸附	119
8.2.4 表征方法	119
8.3 结果与讨论	120
8.3.1 在铝晶片上形成的银纳米枝	120
8.3.2 基底对银纳米枝的影响	123
8.3.3 母液组分对银纳米枝的影响	125
8.3.4 变量参数 $[Ag^+]/[POM]$ 对银纳米枝的影响	128
8.3.5 初始浓度对银纳米枝的影响	129
8.3.6 银纳米枝的生长机制	130
8.3.7 银纳米枝的 SERS 分析	133
8.4 小结	134
参考文献	134
9 聚阴离子多金属氧酸盐包覆的 Pd⁰ 纳米粒子在水溶液中的	
自组装	139
9.1 引言	139
9.2 实验部分	140
9.2.1 样品的制备	140
9.2.2 静态和动态光散射分析	140
9.2.3 X 射线光电子能谱 (XPS)	141
9.2.4 透射电子显微镜 (TEM)	141
9.2.5 Zeta 电位分析	141
9.3 结果与讨论	141
9.3.1 Zeta SLS 和 DLS 监测的反应和自组装过程	141
9.3.2 K ₂ PdCl ₄ 摩尔比对 HPV ^{IV} 的影响	142
9.3.3 由 HPV 包覆的 Pd ⁰ 纳米粒子形成的超分子结构的 表征	145
9.3.4 空心结构聚集体的形成机理	146
9.3.5 HPV 包覆的 Pd ⁰ 纳米粒子形成的超分子结构中的 反离子的作用	148
9.4 小结	149
参考文献	149

10 多金属氧酸盐稳定的 Pt 纳米粒子及其电催化活性	153
10.1 引言	153
10.2 实验部分	154
10.2.1 POM - Pt NP 的合成和结构表征	154
10.2.2 电化学分析和电极制备	155
10.3 结果与讨论	157
10.3.1 POM - Pt NP 的结构表征	157
10.3.2 POM - Pt NP 的电化学表征	159
10.4 小结	161
参考文献	161

1 绪 论

随着科学技术的不断发展以及人们对自然界研究的不断深入，人们对自然界的认识现已从可以用肉眼观测到的宏观现象进入了以分子、原子为基础的微观世界的研究，甚至到了在两者之间存在着的、不同于以上两者的介观微纳米领域的研究。纳米是一个长度为十亿分之一米（即 10^{-9}m ）的单位，简称为 nm。通常我们界定 1 ~ 100nm 之间的体系为纳米体系。由于其尺寸约等于或略大于分子的尺寸上限，能够体现出分子或原子间强相互作用，因此其表现出的性能均与常规物质有所差异，甚至发生质变^[1]。

在过去的二十几年里，纳米科技已逐渐成为人们所认识的新兴领域并日益发展起来。纳米技术是在纳米水平上对原子或分子进行操作并控制材料的结构，从而研究和发现材料的新性质、开发其新功能的科学技术。纳米材料在磁学、光学、电学、催化以及医疗等各个领域所体现出来的优异性质具有其他材料不可替代的、无法超越的优越性。世界各国的前沿领域都注意到了纳米科技的先进性以及研发纳米材料的重要性。

在众多的纳米材料中，贵金属纳米材料无与伦比的优良性质使其在纳米材料领域中占据了不可取代的重要一席。

1.1 金纳米粒子简介

在科研领域中，金的研究已是一个古老的课题。人们对金的开采始于公元前 5000 年，大约在公元 4 世纪或 5 世纪，中国和埃及出现了溶液形态的金。古时候，材料在生态意义上的使用是出于艺术和治疗目的的。古罗马时期，胶体金纳米粒子被用来将玻璃涂成浓烈的火红色以及将陶器上色，这些方法直到今天也仍在使使用。1856 年，英国的物理化学家 Michael Faraday 在炼丹术的启发下，首次合成了金溶胶。到中世纪时期，人们开始注意到金胶体对各种疾病有诊断及非常显著的治疗效果。1718 年，Hans、Heinrich 和 Helcher 完成了第一部完整的关于金胶体的著作，该著作阐明，可饮用的液体金煮沸后，其金的稳定性可明显提高^[2]。Jeremias Benjamin Richters 于 1818 年解释了不同方法制备出的金呈现不同颜色的原因。1857 年，Faraday 用一种含磷的二硫化碳（一种两相体系）还原氯金酸水溶液来制备深红色胶体金获得成功。他研究了将胶体金干燥后制成的薄层的光学性质并发现薄层在机械压迫下颜色变化是可逆的^[3]。1861 年，Graham 创

造了术语“胶体”。各种制备金胶体的方法在 20 世纪被相继报道和总结，在过去的十几年里，尤其是在 Brust 和 Schmid 等人的突破性报道之后，关于胶体金的报道更是层出不穷^[4~6]。特别近些年来，作为重要的贵金属纳米材料之一，金纳米粒子因其独特的结构，有趣的电学、光学、磁学、催化性质和良好的化学稳定性以及生物相容性，已成为一个研究最广泛、最热门的科研领域，并应用于纳米光子学^[7~9]、纳米电子学^[10,11]、传感器^[12]、催化^[13~15]、生物标记^[15]以及构建二、三维新结构材料等诸多领域中。

1.1.1 金纳米粒子的结构

金纳米粒子 (Au NPs) 是一个双离子层结构，其最内层是一个基础金核 (原子金 Au)，内层负离子 (AuCl_2^-) 紧连在金核表面构成吸附层， H^+ 离子则分散在胶体间溶液中构成外层离子层 (扩散层)，进而维持金纳米粒子的稳定^[16]。图 1-1 是金纳米粒子微观结构示意图^[17]。

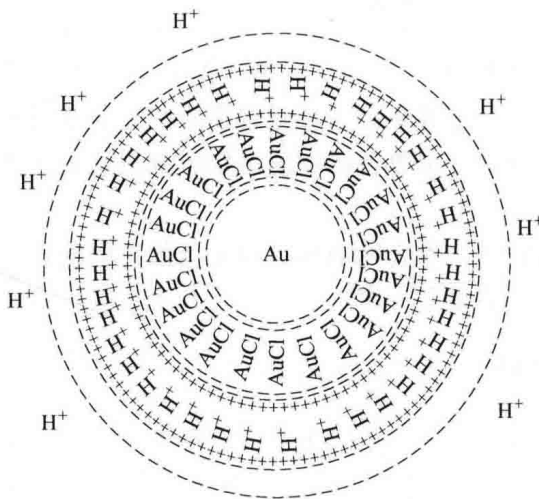


图 1-1 金纳米粒子的微观结构图

金纳米粒子最内层的基础金核并不是理想的圆球形内核，较小的金纳米粒子基本上是圆球形的，较大的金纳米粒子 (通常指 25nm 以上的) 一般呈椭球形。金纳米粒子具有很高的电子密度，在电子显微镜下，金纳米粒子颗粒的形态能够很清楚地被观察到。图 1-2 是不同尺寸的金纳米粒子的透射电子显微镜 (TEM) 照片^[18]。

不同尺寸的金纳米粒子会呈现相应的不同颜色，彭剑淳等人总结出金纳米粒子粒径 (10 ~ 70nm) 和最大吸收峰之间是呈线性关系的，其关系基本符合如下

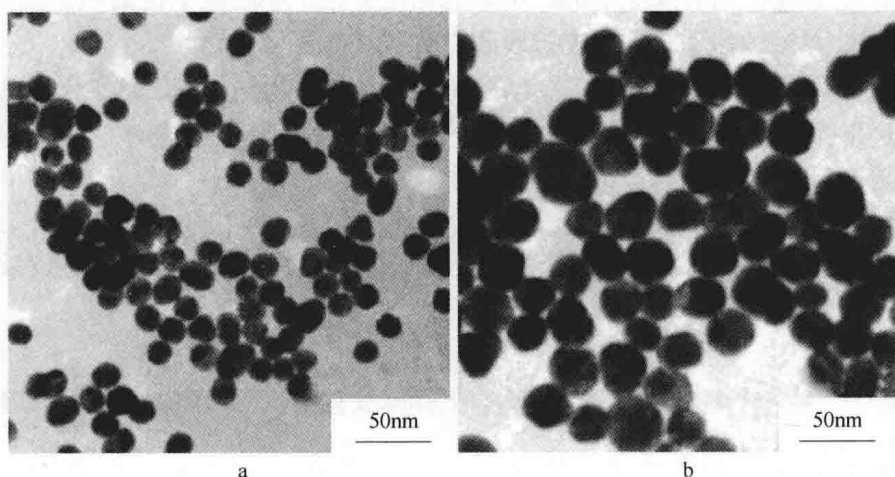


图 1-2 不同尺寸的金纳米粒子的 TEM 图

a—20nm(±10%); b—32nm(±12%)

线性回归方程:

$$Y = 0.4271X + 514.56$$

金粒子颗粒越均匀,其最大吸收峰主峰宽度越小;金粒子颗粒越不均匀,则其主峰宽度越大^[19]。基于金表面原子导带 6s 电子云集体扰动的结果的影响,金纳米粒子的表面等离子共振谱带在 500 ~ 600nm 之间,其位置取决于金纳米粒子的粒径大小、形貌以及周围环境的温度和介电性质。

1.1.2 金纳米粒子的性质

1.1.2.1 光学性质

等离子体是指金属纳米材料中所有自由电子和正电骨架的集合作用。金属纳米粒子的等离子体通常富集在纳米粒子的表面,形成表面等离子体。当符合等离子体共振条件的入射光辐射到金纳米粒子时,纳米粒子的自由电子和正电骨架将产生集合振动,这会导致超强的吸收和散射,故而产生了金的超强消光系数,同时也会伴随着超强表面电磁场的产生,这种超强的表面电磁场导致了金纳米粒子具有表面增强拉曼(SERS)性质。到目前为止,各种不同形貌、不同尺寸的金纳米粒子的 SERS 活性已被大量的研究^[20~28]。

当金纳米粒子的尺寸与价电子的德布罗意波长在同一数量级时,纳米粒子则表现出量子尺寸效应。金纳米粒子的表面等离子体共振(SPR)是由纳米粒子表面的来自 6s 导带的电子云的集体振动引起的,该过程与入射光的电磁场有着十分紧密的关系。当有电磁场作用时,金纳米粒子的电子云会发生位移,偏离电荷

中心，产生振荡。当有光照射时，电磁场驱使金粒子中的电子在某一共振频率下共振，在此共振频率下，入射光被吸收（如图 1-3 所示）^[29]。

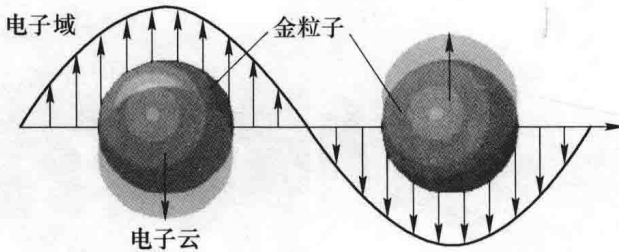


图 1-3 球体的等离子体振荡示意图（图中示出了传导电子电荷相对于核的位移）

金纳米粒子的 SPR 性质（峰强、峰位、峰宽等）受金粒子的尺寸、形貌、溶剂性质、表面配体以及粒子间距等多方面的影响。金纳米粒子水溶液的颜色则能反映其 SPR 峰的位置，酒红色代表纳米粒子的吸收带落在 520nm 左右的可见区^[30,31]。基于金纳米粒子的 SPR 性质对于粒子尺寸、形貌的敏感性，常将该特性作为探针用于研究金纳米粒子的合成和机理。

1.1.2.2 催化性质

金纳米粒子具有很强的催化性能^[32,33]。众所周知，纳米材料具有粒子尺寸小、比表面大、吸附能力强、化学反应活性高的特点。金纳米粒子在条件合适时，可以催化断裂氢—氢、碳—碳、碳—氢以及碳—氧等键，并且具有选择性强、使用方便、催化条件温和、可以直接投入液相体系使用、不易失活、催化效率高等一系列的优点。

1.1.2.3 其他性质

金纳米粒子有很强的导电性，可以被用于连接生物分子酶和电极，使二者之间的电子转移加快，得到性能优异的生物传感器^[34-37]。

除此之外，在电化学敏感膜中，金纳米粒子还可用于提高电活性物质的氧化还原可逆性^[38]。

1.1.3 金纳米粒子的制备方法

金纳米粒子有各种各样的制备方法，大致可以将其划分为两大类：物理方法和化学方法。相对来讲，物理方法对于粒子形貌的控制比较容易，但是对于设备和技术的要求比较高，通常要有特殊的设备，并且合成过程相对更复杂些，而化学方法却没有这几方面的缺点，所以更受人们的关注，其中氧化还原法更是倍受人们的青睐。氧化还原法的原理是利用金盐为起始原料，有目的地选择各种还原

能力不同的还原剂来还原金盐，以控制金粒子在反应过程中的生长，使粒子维持一定的纳米尺寸。在氧化还原方法中，又可以按照金粒子的合成步骤将合成方法分为一步合成法及多步合成法（也就是种子生长法）。这两种方法相比，一步合成法制备金纳米粒子由于其在合成过程中操作简单而特别受到人们的喜爱。该方法最早始于19世纪，Faraday等人在加热的 HAuCl_4 溶液中用磷做还原剂，最终制得了金溶胶。自此以后，各种各样、各有优点的还原剂被不断的尝试用于合成金纳米粒子，其中，最常用的有 NaBH_4 、柠檬酸钠、抗坏血酸等。

1.1.3.1 NaBH_4 法

NaBH_4 法是利用 NaBH_4 的强还原性，在硫醇类配体的稳定作用下，还原 HAuCl_4 来制备金纳米粒子，其特点是所制得的金粒子通常是小尺寸粒子^[39~44]。

1.1.3.2 柠檬酸钠法

柠檬酸钠法是在煮沸的 HAuCl_4 溶液中，注入柠檬酸钠溶液，利用柠檬酸钠的还原性将 HAuCl_4 还原，制得15~40nm的金纳米粒子。在此过程中，柠檬酸钠同时起到了还原剂、稳定剂和pH调节剂三个角色的功能^[45~60]。该方法的特点是，柠檬酸钠的配体作用较弱，同时又具有良好的生物相容性^[61]，便于与其他功能性的配体或生物分子进行交换，使金纳米粒子在目标体系中使用起来更加方便。

1.1.3.3 抗坏血酸法

抗坏血酸法基于抗坏血酸分子内的烯二醇结构（如图1-4所示），使其具有较强的还原性，也被广泛用于还原金盐合成金纳米粒子。该方法的特点是抗坏血酸还原能力适中，可在室温条件下还原 HAuCl_4 溶液，但由于其较弱的配体作用，合成过程中通常要加入其他稳定剂^[62~64]。

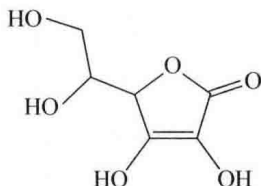


图 1-4 抗坏血酸的结构

1.2 银纳米粒子简介

银纳米粒子作为贵金属纳米粒子中的一种，有其自身独特的、无法替代的卓越性质，包括电子特性^[65]、光学特性^[66~70]、机械特性^[71]和催化特性^[72]以及良

好的抗菌性^[73~76]、生物兼容性和表面易修饰性。因此,银纳米粒子一直深受人们的关注。

1.2.1 银纳米粒子的制备方法

目前,银纳米粒子的制备方法有很多种,根据反应机理可将其分为:物理法、生物法和化学法。

1.2.1.1 物理法

(1) 激光烧蚀法。激光烧蚀法是制备银纳米粒子的一门新兴技术,具有周期短、无外来杂质等优点,用激光烧蚀法制备出来的银纳米粒子纯净度更高,并且具有很好的表面增强拉曼散射活性^[77]。

(2) 真空冷凝法。真空冷凝法是在惰性气氛中或真空氛围中,用加热、激光或电弧高频感应等方法产生高温,使银原料气化或形成等离子体,然后骤冷使其凝结,从而得到纳米银粒子的方法。

(3) 机械球磨法。机械球磨法是以粉碎与研磨操作为主体,通过改变外界物理条件得到银纳米粒子的纯元素、合金或复合材料。

1.2.1.2 生物法

利用自然界中微生物和天然有机材料制备银纳米粒子的方法称为生物法。采用生物法合成银纳米粒子耗能低并且环境友好,因此该法又被称为绿色合成法,已逐渐成为化学领域的重要研究方向。

1.2.1.3 化学法

(1) 微乳液法。微乳液法是在加入表面活性剂的作用下,加入一种亲水和另一种亲油的物质,这两种物质在此条件下,相互作用形成乳液。在此乳液中,加入的银盐与还原剂发生化学反应,生成的颗粒在小液滴内,粒子在溶液中析出得到固体。该方法可以通过改变小液滴的尺寸而实现粒子尺寸的控制。由于此体系属于各向同性的热力学稳定体系,所以在此条件下制备的银纳米粒子不易发生团聚、形态尺寸比较好控制、界面性和稳定性好^[78]。

(2) 溶胶-凝胶法。溶胶-凝胶法包括化学和物理两个过程,是制备核-壳式纳米级金属粒子的一种方法。将少量的金属银化合物加入溶液中,搅拌混合均匀,形成黏度比较低的溶液,从而实现分子层次的混合;再向其中加入一些微量元素,形成溶胶;利用物理手段实现固化而形成凝胶;最后再经低温、干燥和热处理手段生成含有银纳米粒子的复合新材料。该方法中银纳米粒子的尺寸大小及其形貌调控可通过改变反应物初始溶液的浓度和后期热处理过程得以实现。

(3) 水热合成法。水热合成法就是令溶剂水处于高温高压的超临界状态, 此时溶解在其中的物质的物理性能与化学反应性能都会发生较大的变化, 其基本表现为物质在此溶剂水中的溶解度与温度呈现正比例依赖关系, 很容易形成一定过饱和度的状态, 从而使原本不溶解的物质出现分解的状况, 生成原子或分子基元, 成核再生长, 再经分离和热处理即可得到纳米粒子。

(4) 还原法。银离子极易被还原, 通常银离子是在很低浓度的银盐条件下, 利用还原条件, 并在表面活性剂保护的条件下制备出来的, 其还原条件通常是化学试剂、光和电。

1) 光还原法: 利用光照射银离子, 反应体系中有有机物产生的自由基使银离子被还原而生成银纳米粒子。

2) 电化学还原法: 在电解液中, 存在着稳定剂和高价态银离子, 当电解液的电势达到一定值时, 银离子被还原成银粒子, 为了防止其出现团聚现象, 稳定剂将其包覆保护起来, 从而形成分散的银纳米粒子。

3) 化学还原法: 一般是在液相条件下将银的前驱物充分溶解, 再加入一定量的表面活性剂, 在不同的反应条件下加入还原剂将溶液中的 Ag^+ 还原, 制备出银纳米粒子。常用的还原剂有 NaBH_4 ^[79,80]、乙二醇^[81,82]、水合肼^[83]、N, N-二甲基甲酰胺 (DMF)^[84]、乙醇、糖以及有机胺等。

在以上制备银纳米粒子的方法中, 物理法能够避免在化学还原法中所避免不了的阴、阳离子等杂质的引入, 能获得纯度更高的产品, 但是采用该方法生产银纳米粒子具有产率低、设备昂贵并且生产成本高的缺点; 采用化学法制备银纳米粒子具有尺寸范围广、反应条件简单和成本低等优点, 因此化学法合成银纳米粒子受到众多研究者的青睐, 但是此方法不仅涉及化学药品的毒性, 需要在选材方面考虑对环境的影响问题, 还会在过程中无可避免地容易引入杂质离子; 生物学法合成银纳米粒子在环境友好型和生物相容性上具有一定的优越性, 但如何控制稳定的银纳米粒子的尺寸、改善银纳米粒子的形貌、避免团聚和粒子均一性问题则是该方法领域一直需要解决的问题。

1.2.2 银纳米粒子的应用

银纳米材料因为具有很高的表面能和化学活性, 从而在化工催化、生物医学、光学、超导材料等领域都有着广泛的应用。

1.2.2.1 催化方面的应用

银纳米粒子因其具有纳米级的小尺寸进而导致了其粒子比表面积大, 因此粒子表面原子在所处的环境中具有很大的不饱和性。为了降低自身的能量稳定下来, 银纳米粒子极易与其他原子或者分子相结合, 利用这一点, 银纳米粒子