

Au/SiO₂ 纳米复合材料的消光性质

方靖岳, 张学鹭*, 秦石乔, 李新华, 王飞, 常胜利

国防科学技术大学理学院, 长沙 410073

* 联系人, E-mail: xazhang@nudt.edu.cn

2010-11-09 收稿, 2011-01-05 接受

国防科学技术大学校预研基金资助项目(JC08-02-08)

摘要 利用共溶胶蒸发诱导自组装方式制备有序介孔 SiO₂ 薄膜组装 Au 纳米粒子, 合成了三种 Au/SiO₂ 纳米复合材料. 光谱分析表明, 介孔结构将影响复合材料消光特性; 改变浸渍时间, Au 纳米粒子体积增大并导致复合材料消光谱红移增强. 基于 Maxwell-Garnett(MG)理论, 利用简化模型对复合材料的消光特性进行了分析, 定性说明了复合材料消光特性存在差异的原因. 在材料制备过程中, 通过选用不同表面活性剂或者控制浸渍反应时间, 能对 Au/SiO₂ 纳米复合材料的消光性质进行调控.

关键词

有序介孔薄膜
金纳米粒子
消光谱
MG 理论

金属纳米粒子是一种零维纳米结构, 由于具有量子尺寸效应、表面效应、小尺寸效应、宏观量子隧道效应等, 因而表现出独特的光电性质, 在化学、物理学和生物医药等领域展现出巨大的应用价值^[1-7]. 同时, 由于具有超快光学响应及较大三阶非线性光极化率, 金属纳米粒子镶嵌在固体介电基体中的材料被广泛研究^[8-11]. 有序介孔材料(如介孔 SiO₂ 薄膜、介孔 TiO₂ 薄膜和阳极氧化铝模板(AAO)等)以其孔径在一定范围内连续可调而被用作模板来合成新的纳米材料. 迄今为止, 许多研究小组报道了利用有序介孔 SiO₂ 薄膜为模板组装 Au 纳米粒子的研究^[8,12,13], 但都没有对材料的吸光度进行较深入的研究.

最近, 张中月等人^[14,15]利用离散偶极近似法(discrete dipole approximation, DDA)研究了金纳米管和金纳米柱结构, 以及空心方形银和 U 形银纳米结构的消光性质及其近场特性. DDA 方法是一种金属纳米粒子电磁场散射问题的数值计算方法, 它在讨论粒子的光学性质时, 除考虑其尺寸因素带来的影响外, 还需考虑形状因素带来的影响. 而对于形状为椭球体、尺寸远小于入射光波长的金属纳米粒子, 其场特征可以由单一的偶极项来表示, 用准静态有效

介电理论可以解析地描述其光学特征. Maxwell-Garnett (MG)理论就是常用的有效介质理论之一. 本文以非离子型表面活性剂鲸蜡醇聚氧乙烯(10)醚(Brij-56)及三嵌段共聚物聚环氧乙烷-聚环氧丙烷-聚环氧乙烷(EO₂₀PO₇₀EO₂₀, P123 和 EO₁₀₆PO₇₀EO₁₀₆, F127)为有机模板, 正硅酸乙酯(TEOS)和 3-氨丙基三乙氧基硅烷(APTES)为硅源, 采用共溶胶方式, 蒸发诱导自组装仿生合成出氨基功能化有序介孔 SiO₂ 薄膜^[16,17], 并以此为模板制备了 Au/SiO₂ 纳米复合材料, 利用透射电子显微镜(TEM)表征了材料的形貌, 利用分光光度计测试分析了材料的吸光性质, 并采用 Maxwell-Garnett(MG)理论^[18]定性讨论了不同浸渍时间对复合材料表面等离子体共振(SPR)吸收性质的影响, 为通过控制实验条件实现控制 Au/SiO₂ 纳米复合材料光学性质进行了有益的探索.

1 实验与结果

采用 Brij-56, P123 和 F127 三种不同表面活性剂作为有机模板制备了不同结构的氨基功能化有序介

孔 SiO₂ 薄膜, 图 1 为三种介孔薄膜的 TEM 图像. 有序介孔 SiO₂ 薄膜的介孔结构与表面活性剂的类型直接相关, 在 Brij-56 模板作用下得到的是立方结构薄膜, 在 P123 模板作用下得到的是六方结构薄膜, 在 F127 模板作用下得到的也是六方结构薄膜, 而且它们的介孔周期彼此不同, 通过 TEM 图像测量可知, 利用 Brij-56 制备的有序介孔周期约 5.3 nm; 利用 P123 制备的有序介孔周期约 14.2 nm; 利用 F127 制备的有序介孔周期约 11.8 nm.

将氨基功能化的介孔 SiO₂ 薄膜样品浸没在氯金酸的乙醇(HAuCl₄/EtOH)溶液中, 真空条件下反应一定时间, 然后取出并用去离子水冲洗, 在氢气氛围中以 400℃ 恒温条件还原 2 h, 制备得到 Au/SiO₂ 纳米复合材料. 利用 HITACHI U-4100 型紫外-可见分光光度计测得 Si 基片上以 Brij-56 为表面活性剂模板、反应时间为 8 和 16 h 的复合材料的吸光度曲线如图 2(a) 所示; 玻璃基片上以 P123 为表面活性剂模板、反应时间为 2, 6 和 10 h 的复合材料的吸光度曲线如图 2(b)

所示; 玻璃基片上以 F127 为表面活性剂模板、反应时间为 4, 6 和 8 h 的复合材料的吸光度曲线如图 2(c) 所示. Brij-56, P123 和 F127 三种表面活性剂模板合成的复合材料的吸收峰位置分别位于 520, 580 和 620 nm 附近; 随着浸渍反应时间延长, 三种复合材料的吸收峰位置各自发生了红移, 且峰强稍有增强.

用 HF 的 EtOH 溶液处理 Au/SiO₂ 纳米复合材料, 溶解掉薄膜的 SiO₂ 架构, 留下没有基体支撑的分散的纳米颗粒, 并添加适量十二硫醇(C₁₂H₂₅SH)以防止纳米粒子聚集, 然后在 TEM 下进行观测. 图 3 所示为在三种不同表面活性剂的模板作用下制备的 Au/SiO₂ 纳米复合材料中的某个纳米颗粒的高分辨透射电子显微镜像(HRTEM), 它们的粒径分别为 2.8, 7.7 和 11 nm, 其大小主要决定于作为模板的介孔 SiO₂ 薄膜的结构, 而实验中所采用的表面活性剂种类是决定介孔 SiO₂ 薄膜结构的主要因素. 得到其晶面间隔均约为 0.23 nm, 这对应 Au 的面心立方结构的(111)晶面.

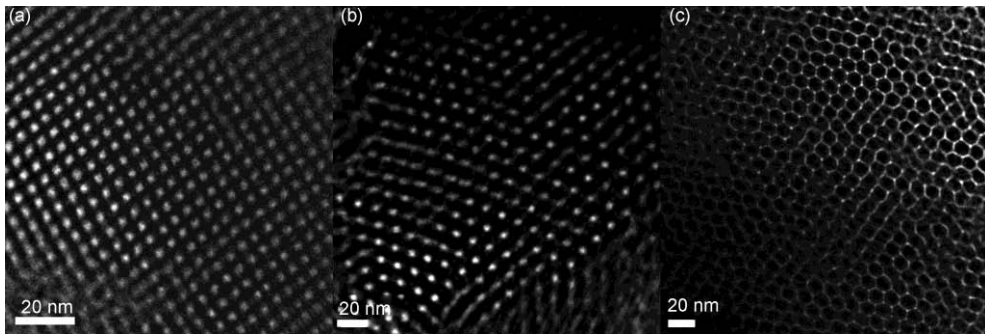


图 1 氨基功能化有序介孔 SiO₂ 薄膜的 TEM 图像

(a) 以 Brij-56 为表面活性剂模板; (b) 以 P123 为表面活性剂模板; (c) 以 F127 为表面活性剂模板

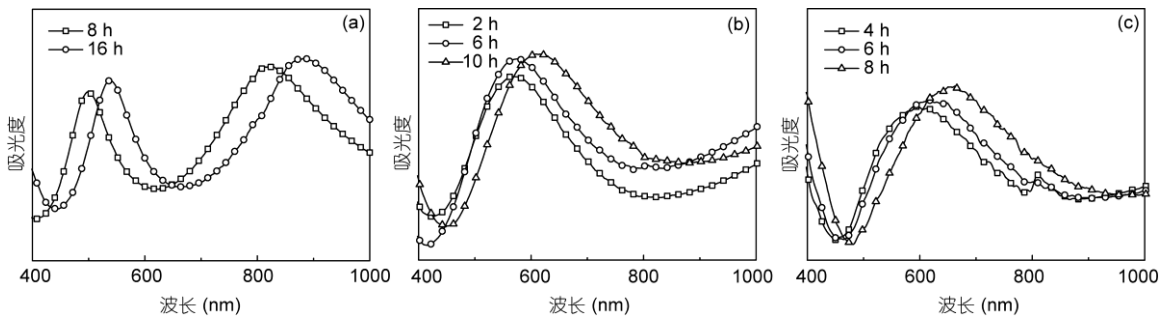


图 2 Au/SiO₂ 纳米复合材料的吸光度

(a) Si 基片上以 Brij-56 为表面活性剂模板, 浸渍时间为 8 和 16 h; (b) 玻璃基片上以 P123 为表面活性剂模板, 浸渍时间为 2, 6 和 10 h; (c) 玻璃基片上以 F127 为表面活性剂模板, 浸渍时间为 4, 6 和 8 h

对分散的纳米颗粒进行 TEM 表征(图 4)以测量其粒径大小. 图 4(a)和(b)所示为以 Brij-56 为表面活性剂模板制备的样品, 浸渍反应时间为 8 h 的 Au 纳米颗粒粒径在 2.4~3.6 nm 之间, 平均粒径约 2.7 nm, 浸渍反应时间为 16 h 的 Au 纳米颗粒粒径在 2.6~3.9 nm 之间, 平均粒径约 3.4 nm; 图 4(c)~(e)所示为以 P123 为表面活性剂模板制备的样品, 浸渍反应时间为 2 h 的 Au 纳米颗粒粒径在 4.3~10.0 nm 之间, 平均粒径约 7.4 nm; 浸渍反应时间为 6 h 的样品, Au 纳米颗粒粒径在 6.0~12.0 nm 之间, 平均粒径约 8.0 nm; 浸渍反应时间为 10 h 的样品, Au 纳米颗粒粒径在

6.5~13.6 nm 之间, 平均粒径约 8.9 nm; 图 4(f)~(h)所示为以 F127 为表面活性剂模板制备的样品, 浸渍反应时间为 4 h 的样品, Au 纳米颗粒粒径在 5.2~8.3 nm 之间, 平均粒径约 6.8 nm; 浸渍反应时间为 6 h 的样品, Au 纳米颗粒粒径在 5.0~14.0 nm 之间, 平均粒径约 8.4 nm; 浸渍反应时间为 8 h 的样品, Au 纳米颗粒粒径在 6.1~17.6 nm 之间, 平均粒径约 10.1 nm. 可见, 随着浸渍反应时间增加, Au 纳米颗粒的粒径呈增长趋势(观测到的粒径较大的 Au 颗粒不是介孔孔道组装所得, 而可能是在介孔表面生长得到的).

从实验结果可知, 不同表面活性剂模板合成的复

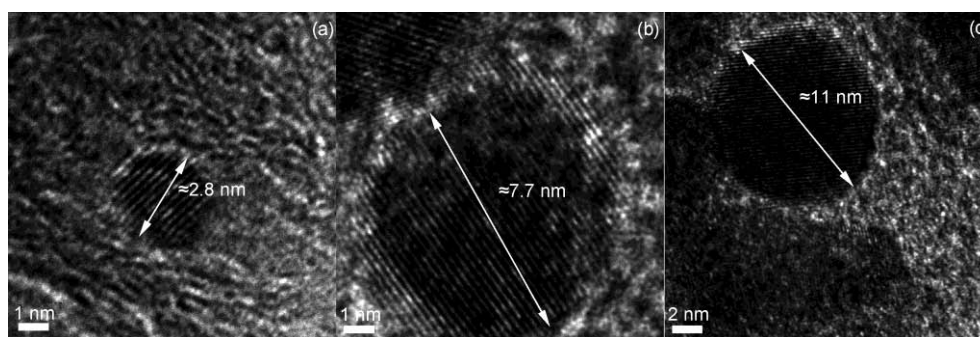


图 3 单个 Au 颗粒的 HRTEM 图像

(a) 以 Brij-56 为表面活性剂模板; (b) 以 P123 为表面活性剂模板; (c) 以 F127 为表面活性剂模板

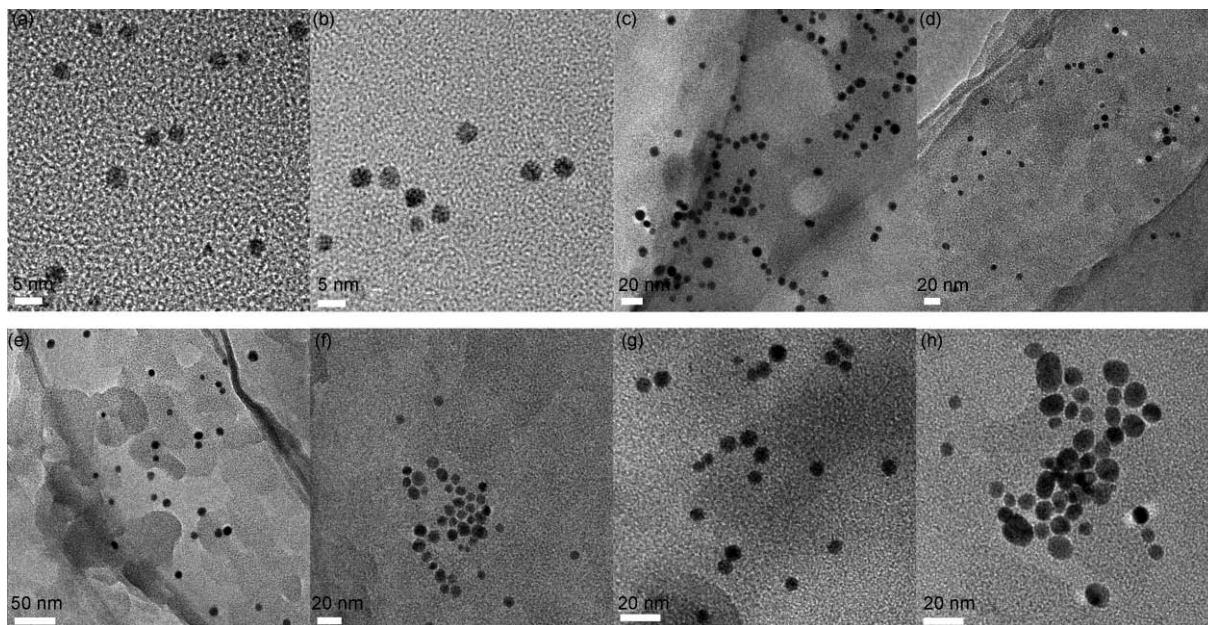


图 4 Au/SiO₂ 纳米复合材料中 Au 颗粒的 TEM 图像

以 Brij-56 为表面活性剂模板, 浸渍时间为 8 h(a)和 16 h(b); 以 P123 为表面活性剂模板, 浸渍时间为 2 h(c), 6 h(d)和 10 h(e); 以 F127 为表面活性剂模板, 浸渍时间为 4 h(f), 6 h(g)和 8 h(h)

合材料具有不同的消光性质; 浸渍反应时间影响复合材料中 Au 颗粒粒径的大小, 并影响复合材料的吸光度.

2 理论与分析

Au/SiO₂ 纳米复合材料的合成机制如图 5 所示. 通过直接共溶胶方式, 蒸发诱导自组装合成氨基功能化介孔 SiO₂ 薄膜(图 5(a)), 再利用介孔孔道中氨基与 HAuCl₄ 的中和反应等, 将 Au 元素引入介孔(图 5(b)), 通过煅烧、氢气还原等处理最终制备出 Au/SiO₂ 纳米复合材料(图 5(c))^[8]. 共溶胶制备方式的氨基功能化效率高, 孔道表面的氨基分布最高可达到 3.4 个氨基/nm²^[19], 能有效将 Au 元素引入介孔; 同时, 煅烧、还原能使分散的 Au 原子转变为聚集的 Au 团簇^[20], 最终, Au 颗粒将大体分布于介孔中. 据此, 本文假定 Au/SiO₂ 纳米复合材料中 Au 纳米粒子以椭球体形态分布于介孔之中, 又因其尺寸小于 10 nm 且被绝缘材料分离, 故采用 MG 理论对其光学消光性质进行分析.

将 Au/SiO₂ 纳米复合薄膜结构简化为如图 6 所示的模型. 假设 Au 纳米粒子以旋转椭球体的形状镶嵌在有序介孔 SiO₂ 薄膜的孔道中, 介孔薄膜的孔径为 D , 孔间距为 T_1, T_2 . 采用 Drude 色散理论(只考虑自由电子部分)来描述 Au 纳米粒子在光波作用下的介电性质, 其介电函数为

$$\epsilon_1 = 1 - \frac{w_p^2}{w^2 + \gamma^2} + i \frac{\gamma w_p^2}{w(w^2 + \gamma^2)}, \quad (1)$$

其中 w 为入射光角频率, $w_p^2 = Ne^{*2}/(m\epsilon_0)$ 为等离子体频率, e^* 为电子有效电荷, m 为电子质量, N 为单位体积 Au 纳米粒子自由电子的数目, γ 为阻尼系数. γ 受到

粒子尺寸的影响, 表示自由电子之间的碰撞和散射等相互作用. 假设 a 为 Au 纳米粒子椭球体半长轴长, b 为半短轴长(如图 6 所示), 定义椭球体的长径比 $R = a/b$, 当 $R \in \{R|0.5 < R < 2\}$ 时, 认为 Au 纳米粒子的尺寸 r 满足 $r = (a+b)/2$, 将 γ 表示为

$$\gamma = \gamma_0 + A \frac{v_f}{r} = \frac{v_f}{l_\infty} + A \frac{v_f}{r}, \quad (2)$$

其中 γ_0 为体相材料中电子相互作用(碰撞、散射等)的频率, v_f 是电子的费米速率, l_∞ 为体相材料中电子的平均自由程, A 是反映表面电子跃迁、与粒子形貌等相关的系数^[21-23].

当平行平面光沿 Au 纳米粒子椭球体长轴入射时(如图 6 所示), 令 $\eta = \sqrt{1-R^2}$, 洛伦兹去极化因子 q 表示为^[24]

$$q = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{1-\eta^2}{\eta^2} \left[\frac{1}{2\eta} \ln \left(\frac{1+\eta}{1-\eta} \right) - 1 \right] \right\}. \quad (3)$$

屏蔽参数 κ 表示为

$$\kappa = \frac{1-q}{q}, \quad (4)$$

从而得到 M-G 关系式^[25]:

$$\epsilon_e = \epsilon_2 + \frac{f_m \epsilon_2 (1+\kappa) (\epsilon_1 - \epsilon_2)}{(\epsilon_1 + \kappa \epsilon_2) - f_m (\epsilon_1 - \epsilon_2)}, \quad (5)$$

其中 ϵ_e 为 Au/SiO₂ 纳米复合材料的有效介电函数, ϵ_2 为基体介质有序介孔 SiO₂ 薄膜的介电函数, f_m 为 Au 纳米粒子的体积分数. 假设有序介孔 SiO₂ 薄膜的孔壁厚度 $T_1 = T_2 = T$, Au 纳米粒子完全填充介孔的横截面 ($b = D/2$), 仅考虑复合材料表层的影响, f_m 可以等效为

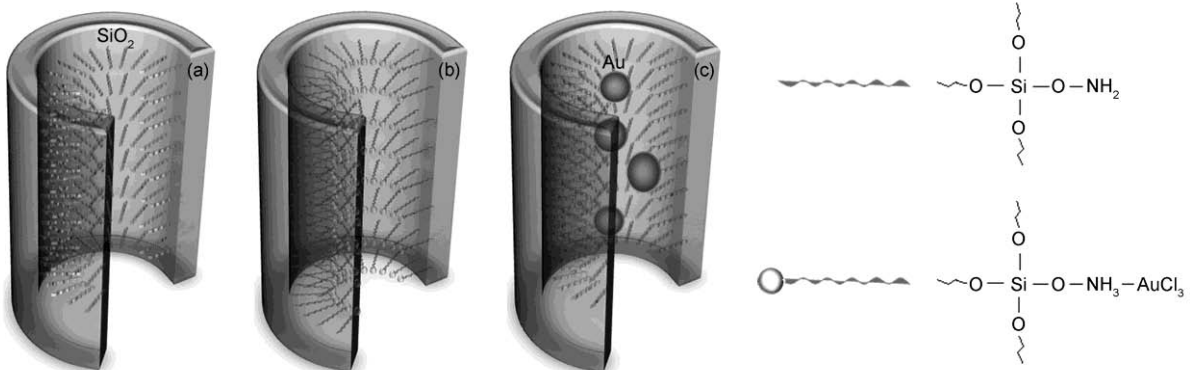


图 5 SiO₂ 介孔薄膜组装 Au 纳米粒子机制

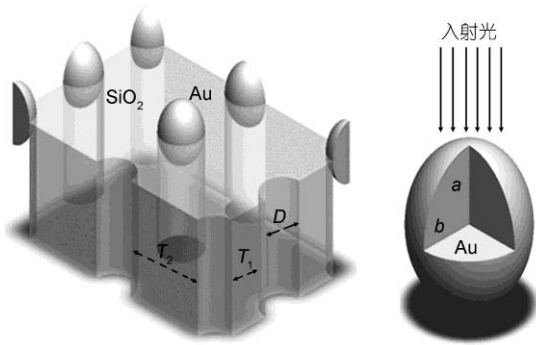


图6 Au/SiO₂ 纳米复合材料简化结构示意图

$$f_m(D, T) = \left(\frac{D}{D+T} \right)^2 \quad (6)$$

另外, 有序介孔 SiO₂ 薄膜不同于块体 SiO₂ 材料, 它是 SiO₂ 和空气的混合物, 其介电常数因介孔结构而发生变化, 假设以 SiO₂ 和空气所占的体积作为权重来计算 SiO₂ 介孔材料的等效介电常数, 则

$$\epsilon_2(D, T) = \frac{\epsilon_{\text{air}} D^2 + \epsilon_{\text{bulk}} T(2D+T)}{(D+T)^2} \quad (7)$$

其中 ϵ_{air} 为空气介电常数, ϵ_{bulk} 为 SiO₂ 块体材料介电常数. 取 $\epsilon_{\text{air}}=1$; SiO₂ 的介电常数一般为 3~5, 取 $\epsilon_{\text{bulk}}=3.9$.

根据折射率与介电常数之间的关系, 得到 Au/SiO₂ 纳米复合薄膜的表面等离子共振消光系数色散关系:

$$k = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sqrt{\epsilon_{e,r}^2 + \epsilon_{e,i}^2} - \epsilon_{e,r} \right)} \quad (8)$$

根据以上简化模型进行模拟, 选取 Au 纳米粒子的相关参数为: $N=5.9 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$, $A=0.43$, $v_f=1.39 \times 10^6 \text{ m/s}$, $\gamma_0=4.4 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ^[26], 结果如图 7 所示. 假设

Au/SiO₂ 纳米复合材料中 Au 纳米粒子为球形, 且其体积分数 f_m 保持不变(由(6)和(7)式可知, 有序介孔 SiO₂ 薄膜的孔径 D 和孔壁厚 T 保持确定的比例关系, 且 ϵ_2 保持不变), 当介孔薄膜的孔径 D 尺寸变化时(即 Au 纳米粒子尺寸变化), 复合材料的消光系数谱如图 7(a)所示, 随着 Au 纳米粒子尺寸增大, 复合材料的消光谱出现非常轻微的红移、峰强增强、半峰宽减小, 这主要是由散射增强, 而非吸收增强引起的^[18]. 假设复合材粒子体积分数 f_m 保持不变, 且 ϵ_2 保持不变), 当椭球体形状 Au 纳米粒子的长径比变化时, 复合材料的消光系数谱如图 7(b)所示, 随着 Au 纳米粒子由扁平椭球体向扁长椭球体形状变化, 消光谱发生蓝移, 峰强稍有增加, 半峰宽减小, 而且这种变化规律在 Au 纳米粒子的长径比较大时更加明显, 这主要是作为粒子形状系数的屏蔽参数发生改变带来的结果. 假设复合材料中 Au 纳米粒子的长径比保持不变, 当 Au 纳米粒子的体积分数 f_m 发生变化时(介孔薄膜的介孔结构及介电常数 ϵ_2 随之改变), 复合材料的消光系数谱如图 7(c)所示, 随着 Au 纳米粒子体积分数增大, 消光谱发生红移, 峰强增强, 半峰宽增大. 可见, 复合材料的介孔结构以及 Au 颗粒的粒径、形状和体积分数都将对 Au/SiO₂ 纳米复合材料的消光性质产生影响, 其中 Au 颗粒的形状和体积分数对消光性质的影响较大.

3 结论

本文利用不同表面活性剂生成的不同结构有序介孔 SiO₂ 薄膜组装 Au 纳米粒子, 制备了三种 Au/SiO₂ 纳米复合材料, 利用 TEM 和分光光度计对其进行了表征和测试; 基于 MG 理论, 利用简化模型分

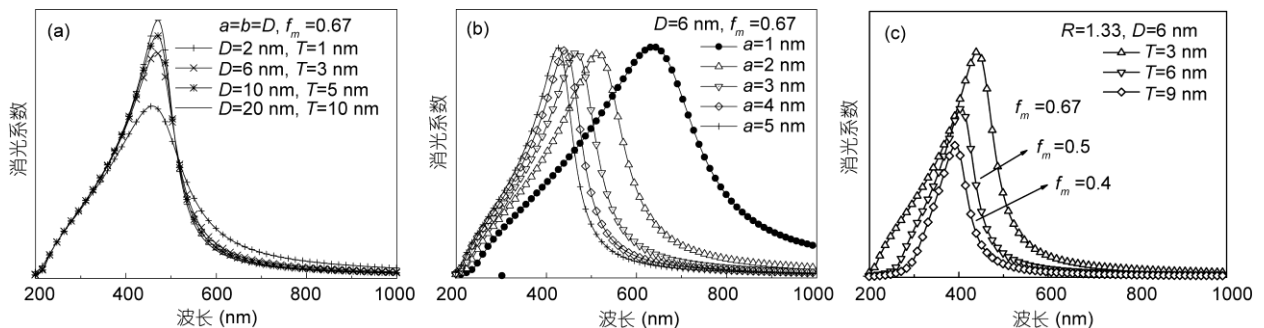


图7 理论模拟 Au/SiO₂ 纳米复合材料的消光系数谱

(a) 球形 Au 纳米粒子具有不同尺寸; (b) 椭球体 Au 纳米粒子具有不同形状(长径比); (c) 复合材料中 Au 纳米粒子体积分数不同

析了 Au/SiO₂ 纳米复合材料的消光特性, 理论模拟结果与文献[25~30]所得结论一致, 定性解释了实验中得到的复合材料消光性质差异的原因. 有序介孔 SiO₂ 薄膜介孔结构不同将导致: (1) 孔径越大, 介孔表面积越大, 可参与中和反应的氨基越多, 最后在介孔中聚集的 Au 越多, 即 Au 纳米粒子在复合材料中所占的体积分数越大; (2) 作为 SiO₂ 和空气的混合体, 介孔孔径不同将导致薄膜基体的有效介电常数随之改变; 而浸渍反应时间直接影响复合材料中 Au 颗粒

的体积, 所以, 不同结构介孔薄膜、不同浸渍反应时间组装 Au 纳米粒子而成的复合材料具有不同的消光性能. 从而得出调控 Au/SiO₂ 纳米复合材料光学性质的方法: (1) 以不同表面活性剂制备出具有不同介孔结构的 SiO₂ 有序介孔模板, 通过改变作为基体材料的模板结构及介孔中 Au 的含量来获得具有不同吸光性质的纳米复合材料; (2) 控制有序介孔 SiO₂ 模板与 HAuCl₄ 的反应时间来控制复合材料中 Au 的含量, 制备出具有不同吸光性质的纳米复合材料.

考文献

- 1 Genzel L, Martin T P, Kreibig U. Dielectric function and plasma resonances of small metal particles. *Z Physik B*, 1975, 21: 339–346
- 2 Englebienne P, Hoonacker A V, Verhas M. Surface plasmon resonance: Principles, methods and applications in biomedical sciences. *Spectroscopy*, 2003, 17: 255–273
- 3 Zhang J, Song S P, Wang L H, et al. A gold nanoparticle-based chronocoulometric DNA sensor for amplified detection of DNA. *Nat Protoc*, 2007, 2: 2888–2895
- 4 Storhoff J J, Lucas A D, Garimella V, et al. Homogeneous detection of unamplified genomic DNA sequences based on colorimetric scatter of gold nanoparticle probes. *Nat Biotech*, 2004, 22: 883–887
- 5 Liu J W, Lu Y. Preparation of aptamer-linked gold nanoparticle purple aggregates for colorimetric sensing of analytes. *Nat Protoc*, 2006, 1: 246–252
- 6 Hu M S, Chen H L, Shen C H, et al. Photosensitive gold-nanoparticle-embedded dielectric nanowires. *Nat Mater*, 2006, 5: 102–106
- 7 阮芳雄, 张顺平, 李志鹏, 等. 钯纳米粒子体系中的近场耦合与 SERS 效应. *科学通报*, 2010, 55: 2078–2085
- 8 Gu J L, Shi J L, You G J, et al. Incorporation of highly dispersed gold nanoparticles into the pore channels of mesoporous silica thin films and their ultrafast nonlinear optical response. *Adv Mater*, 2005, 17: 557–560
- 9 Yang Y, Nogami M, Shi J L, et al. Controlled surface-plasmon coupling in SiO₂-coated gold nanochains for tunable nonlinear optical properties. *Appl Phys Lett*, 2006, 88: 081110–081112
- 10 Shen H, Cheng B L, Lu G W, et al. Enhancement of optical nonlinearity in periodic gold nanoparticle arrays. *Nanotechnology*, 2006, 17: 4274–4277
- 11 Han J B, Chen D J, Ding S, et al. Plasmon resonant absorption and third-order optical nonlinearity in Ag-Ti cosputtered composite films. *J Appl Phys*, 2006, 99: 023526–023529
- 12 Fan H Y, Yang K, Boye D M, et al. Self-assembly of ordered, robust, three-dimensional gold nanocrystal/silica arrays. *Science*, 2004, 304: 567–571
- 13 Fukuoka A, Araki H, Sakamoto Y, et al. Template synthesis of nanoparticle arrays of gold and platinum in mesoporous silica films. *Nano Lett*, 2002, 2: 793–795
- 14 张中月, 熊祖洪. 金纳米管结构的等离子体光子学性质. *科学通报*, 2010, 55: 2269–2275
- 15 张中月, 熊祖洪. 空心方形银纳米结构的光学性质. *中国科学: 物理学 力学 天文学*, 2010, 40: 330–337
- 16 Zhang X A, Wu W J, Wang J F, et al. Direct synthesis and characterization of highly ordered functional mesoporous silica thin films with high amino-groups content. *Appl Surf Sci*, 2008, 254: 2893–2899
- 17 Zhang X A, Wang J F, Wu W J, et al. Immobilization and electrochemistry of cytochrome C on amino-functionalized mesoporous silica thin films. *Electrochem Commun*, 2007, 9: 2098–2104
- 18 Ruppin R. Evaluation of extended Maxwell-Garnett theories. *Opt Commun*, 2000, 182: 273–279
- 19 张学骛. 有序介孔二氧化硅薄膜的仿生合成及其组装化学. 博士学位论文. 长沙: 国防科学技术大学, 2007. 106
- 20 Liao H B, Xiao R F, Fu J S, et al. Large third-order optical nonlinearity in Au:SiO₂ composite films near the percolation threshold. *Appl Phys Lett*, 1997, 70: 1–3
- 21 Kreibig U. Interface-induced dephasing of Mie plasmon polaritons. *Appl Phys B*, 2008, 93: 79–89
- 22 Pinchuk A, Kreibig U, Hilger A. Optical properties of metallic nanoparticles: Influence of interface effects and interband transitions. *Surf Sci*, 2004, 557: 269–280

- 23 Zaremba E, Persson B N J. Dynamic polarizability of small metal particles. *Phys Rev B*, 1987, 35: 596–606
 - 24 Bohren C F, Huffman D R. *Absorption and Scattering of Light by Small Particles*. New York: John Wiley & Sons Inc, 1983. 141–146
 - 25 Hornyak G L, Patrissi C J, Martin C R, et al. Dynamical Maxwell-Garnett optical modeling of nanogold-porous alumina composites: Mie and Kappa influence on absorption maxima. *Nanostructured Mater*, 1997, 9: 575–578
 - 26 Hodak J H, Henglein A, Hartland G V. Electron-phonon coupling dynamics in very small (between 2 and 8 nm diameter) Au nanoparticles. *J Chem Phys*, 2000, 112: 5942–5947
 - 27 Koledintseva M Y, DuBroff R E, Schwartz R W. A Maxwell-Garnett method for dielectric mixtures containing conducting particles at optical frequencies. *PIER*, 2006, 63: 223–242
 - 28 杨杨, 颜丙海, 王永昌. 金纳米棒状微粒的胶囊模型及吸收光谱. *光子学报*, 2005, 34: 375–378
 - 29 张芸, 张波萍, 焦力实, 等. Au/SiO₂ 纳米复合薄膜的微结构及光吸收特性研究. *物理学报*, 2006, 55: 2078–2083
 - 30 Fu G H, Cai W P, Kan C X, et al. Controllable optical properties of Au/SiO₂ nanocomposite induced by ultrasonic irradiation and thermal annealing. *Appl Phys Lett*, 2003, 83: 36–38
-

Extinction property of Au/SiO₂ nanocomposite

FANG JingYue, ZHANG XueAo, QIN ShiQiao, LI XinHua, WANG Fei & CHANG ShengLi

College of Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China

Ordered mesoporous silica thin films were prepared by one-pot co-condensation method by the surfactants Brij56, P123 and F127. They were used in template synthesis of gold nanoparticles, and three kinds of Au/SiO₂ nanocomposites were obtained. The absorption spectra measured by spectrophotometer show that the extinction property of nanocomposites would be affected by their mesostructure. The experimental results show that the size of gold nanoparticles will increase and nanocomposite's extinction spectrum will undergo a red-shift while the dipping time is increased. It was analyzed by the Maxwell-Garnett (MG) theory with a simple model of the nanocomposite. The simulative results gave a qualitative explanation of the difference of the extinction property between different kinds of nanocomposites. By regulating the dipping time or choosing a proper surfactant during the preparation of Au/SiO₂ nanocomposite, we may control its extinction property.

ordered mesoporous thin film, gold nanoparticle, extinction spectrum, MG theory

doi: 10.1360/972010-1956