

文章编号: 0253-2239(2005)12-1649-6

# Ag-AAO 纳米有序阵列复合结构等离子共振吸收特性研究\*

李 燕<sup>1</sup> 王成伟<sup>1\*</sup> 刘维民<sup>2</sup> 力虎林<sup>3</sup> 财满镇明<sup>4</sup> 马书懿<sup>1</sup>

1 西北师范大学物理与电子工程学院, 兰州 730070  
2 中国科学院兰州化学物理研究所固体润滑国家重点实验室, 兰州 730000  
3 兰州大学化学化工学院, 兰州 730000  
4 名古屋大学工学部结晶材料科学系, 日本, 名古屋 464-8603

**摘要:** 研究了 Ag-AAO 纳米有序阵列复合结构的等离子共振吸收特性。结果显示, Ag 表面等离子共振吸收峰位于  $\lambda=352\sim 377$  nm 范围内, 且可通过控制 Ag 纳米粒子的长径比使其吸收特性发生改变。若长径比增加, 吸收峰位蓝移, 强度增大, 峰形变锐; 反之, 若长径比减少, 吸收峰位红移, 强度减弱, 峰形逐渐宽化; 运用麦克斯韦-加尼特 (M-G) 理论模拟的计算结果与实验规律基本相符, 并较好地阐释了 Ag 表面等离子共振吸收峰的频移与其纳米粒子长径比之间的一些依赖关系。

**关键词:** 光学材料; 多孔阳极氧化铝; 纳米有序阵列; 等离子共振吸收

中图分类号: O484.4 文献标识码: A

## Plasma Resonance Absorption Properties of the Ag-AAO Nano-Array Composite

Li Yan<sup>1</sup> Wang Chengwei<sup>1</sup> Liu Weimin<sup>2</sup> Li Hulin<sup>3</sup> Shigeaki Zaima<sup>4</sup> Ma Shuyi<sup>1</sup>

1 College of Physics and Electronic Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou 730070  
2 State Key Laboratory of Solid Lubrication, Lanzhou Institute of Chemical Physics, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000  
3 Department of Chemistry, Lanzhou University, Lanzhou 730000  
4 Department of Crystalline Materials Science, Nagoya University, Nagoya 464-8603, Japan

**Abstract:** Plasma resonance absorption properties of the Ag-AAO nano-array composite are studied. The spectral analysis shows that the surface plasma resonance peak of Ag occurs at  $\lambda=352\sim 377$  nm. As the Ag composition decreases, the dipolar plasma resonance absorption peak shifts to the longer wavelength, weakened and gradually expanded, and vice versa. The theoretical analysis shows that the M-G calculated results agree well with the experimental ones.

**Key words:** material; porous anodic aluminum oxide; nano-array composite; plasma resonance absorption

## 1 引 言

采用多孔阳极氧化铝 (AAO) 模板制备新颖的二维横向纳米超晶格结构及其物性研究备受青睐<sup>[1~7]</sup>。这种新兴的非光刻工艺, 借助于电化学反

应过程中自组织生成的具有六方密排周期性孔道结构的多孔阳极氧化铝模板, 通过液相或气相沉积方法, 可合成多种诸如金属、半导体和纳米管等不同系列的纳米有序阵列复合结构。该工艺不仅在材料选

\* 国家自然科学基金 (60276015)、甘肃省自然科学基金 (ZS021-A25-029-C) 和西北师范大学二期科技创新工程项目 (KJXCXGC-214) 资助课题。

作者简介: 李 燕 (1979~), 女, 河南长葛人, 理学硕士, 主要从事纳米材料与低维结构的研究。

E-mail: liyanyan1979@etang.com

\*\* 通信联系人。E-mail: cwwang@nwnu.edu.cn

收稿日期: 2004-12-30; 收到修改稿日期: 2005-05-30

用上具有广阔的平台和很大的灵活性,而且在通过精确控制纳米粒子形状、尺寸、成分以及掺杂等因素改变纳米结构的物性方面,亦具有很大的自由度和选择性。这些特点对于纳米结构的基础研究和应用研究都将是非常有益的。另外,由于多孔阳极氧化铝模板具有良好的热稳定性和机械特性,可允许对合成的纳米结构作进一步的后处理(如化学修饰、沉积、刻蚀以及机械加工等),使其组装成为很有应用前景的原型器件<sup>[8,9]</sup>,譬如量子点阵列、磁记录阵列、光子晶体、光电子微传感器以及微机械装置等。

近年来,人们已在金属-多孔阳极氧化铝纳米有序阵列复合结构的制备及其光学特性的研究方面做了许多有益的探索<sup>[10~14]</sup>,并取得了不少有价值的研究成果。本文主要研究了 Ag-AAO 纳米有序阵列复合结构的表面等离子共振吸收特性,实验发现其吸收峰的峰形、峰位及强度等特性均与 Ag 纳米粒子长径比的变化有依赖关系,并用麦克斯韦-加尼特(Maxwell-Garnett, M-G)光学有效介质理论模拟了该复合结构的等离子共振吸收特性,得到了一些有意义的研究成果。另外还发现制备的这种结构体系的光吸收特性与前人研究过的 Ag-介质无序结构体系<sup>[11~13]</sup>有一些有趣的不同。

## 2 实 验

### 2.1 多孔阳极氧化铝模板的制备

机械抛光的高纯铝箔(99.99%, 25 mm × 20 mm × 0.3 mm)经丙酮超声脱脂后,在真空 450 °C 下退火 4 h,以消除铝基内部的应力及缺陷。用 0.6 mol/L 的 NaOH 浸泡除去表面氧化层后,室温下放入 HClO<sub>4</sub> 和 C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH 混合液[V(HClO<sub>4</sub>):

V(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)=1:4]进行电抛光(电流 200~300 mA, 时间 3 min),然后在 0 °C, 1.3 mol/L 的 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中进行阳极氧化,电极工作电压 8~45 V,氧化时间 2~4 h,氧化过程中,模板的孔径随氧化电压的升高而增大,孔深随氧化时间的延长而加深。氧化后的基片用去离子水冲洗,氮气吹干,得到符合要求的模板。

### 2.2 Ag/AAO 纳米有序阵列复合结构的制备

室温下用本实验室设计的交流电化学沉积装置,在化学纯 AgNO<sub>3</sub> 和 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 混合液中(pH 值 2.0~3.0)电化学沉积,得到 Ag-AAO 纳米有序阵列结构样品。辅助电极选用石墨,工作电压 15~45 V(有效值),工作频率 200 Hz。沉积时,若选定电极工作电压及模板,则多孔阳极氧化铝孔内 Ag 纳米粒子(或线)的长度随沉积时间的延长而增加,即沉积时间依所需纳米粒子(或线)的长径比要求而定。

### 2.3 形貌结构与光学特性的表征

用透射电子显微镜(TEM)、场发射扫描电子显微镜(FESEM)表征了模板的形貌及 Ag 纳米线阵列的结构特征和生长特性,用 UV/VIS/NIR (Lambda-900)光谱仪测试了 Ag-AAO 纳米有序阵列复合结构样品的等离子共振吸收光谱。

## 3 结果与讨论

### 3.1 实验结果与讨论

仔细选择和控制在制备多孔氧化铝模板结构的工艺参量,使其自组织形成高度有序的纳米孔阵列。其次须掌握如何在模板内沉积不同金属纳米粒子(或线)并控制其长径比<sup>[15]</sup>的技术。

图 1 给出了 AAO 模板形貌结构的场发射扫描电子显微镜照片,从图 1(a)中可清晰地看到高度有

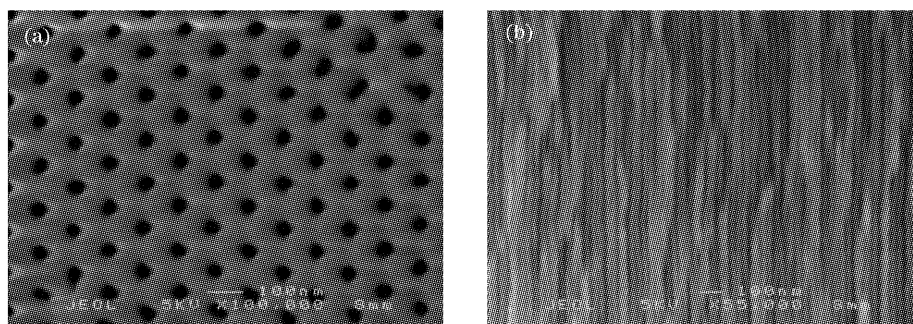


图 1 多孔阳极氧化铝模板(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1.3 mol/L, 0 °C, 12 V, 2 h)形貌结构的场发射扫描电子显微镜照片。

(a) 孔分布高度有序的表面结构相貌图, (b) 模板断面的形貌结构图

Fig. 1 FESEM photograph of porous anodic aluminum oxide membrane (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1.3 mol/L, 0 °C, 12 V, 2 h). (a) Micrograph of highly ordered pores of the surface view of the porous anodic aluminum oxide, (b) micrograph of the cross-section view of the porous anodic aluminum oxide

序的呈六方点阵排列的周期性纳米级孔洞阵列,孔径分布均匀。采用不同的工艺条件(如电解液浓度、温度、氧化电压、时间等),可以得到平均孔径  $10 \sim 100 \text{ nm}$ ,孔密度  $10^8 \sim 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ ,厚度约  $500 \text{ nm} \sim 60 \mu\text{m}$ 等不同结构参量系列的多孔模板。其截面中间位置的形貌[见图 1(b)]说明模板内形成的微孔取向一致、互不连通、彼此平行且垂直于膜面。研究表明,AAO 模板的结构参量诸如孔径,周期性和阵列尺寸能够在很宽的范围内受控,大大超过了昂贵复杂的电子束或光刻工艺所能达到的范围。这将对拟合成结构中嵌入材料的生长形态、尺寸和分布形式作精确控制方面有着很大的优越性。

多孔阳极氧化铝模板不仅是一种宽带隙材料,具有良好的热稳定性、化学稳定性和高的热导率,而且具有良好的光学特性,在近紫外至近红外波段具有很高的透光性<sup>[16]</sup>。图 2 为拟选用空模板(孔径约  $39.2 \text{ nm}$ 、孔密度约  $7.7 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ )的光吸收谱。在  $340 \sim 1800 \text{ nm}$  的宽波段范围内模板具有低且均一的吸光度,平均约为  $0.166$ ,从图谱上叠加的干涉条纹可知,模板厚度均匀,且上下两个表面均非常平整。

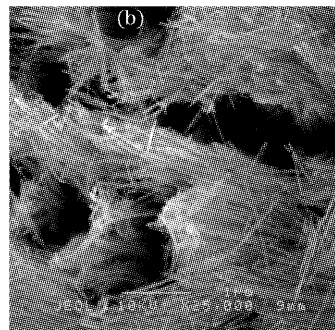
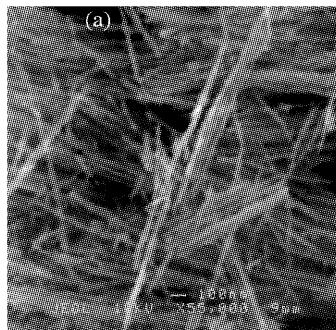


图 3 Ag 纳米线的 FESEM 形貌照片(工艺参量:  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $1.3 \text{ mol/L}$ ,  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $15 \text{ V}$ ,  $4 \text{ h}$ ; 沉积时间  $15 \text{ min}$ ,长径比大于  $100$ )

Fig. 3 FESEM micrograph of Ag nanowires with the deposition time of  $15 \text{ min}$ , and the aspect ratio over  $100$  (porous anodic aluminum oxide parameter:  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $1.3 \text{ mol/L}$ ,  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $15 \text{ V}$ ,  $4 \text{ h}$ )

设计了两个系列的 Ag-AAO 复合结构样品,并分别测量和考察了它们的光吸收特性。第一系列是选择相同孔径的模板(阳极氧化电压  $10 \text{ V}$ ,时间  $4 \text{ h}$ ),沉积时间不同(分别为  $30 \text{ s}$ ,  $60 \text{ s}$ ,  $90 \text{ s}$ )的 3 个样品;第二系列则是选择不同孔径的模板(阳极氧化电压分别为  $10 \text{ V}$ ,  $15 \text{ V}$  和  $18 \text{ V}$ ,时间  $4 \text{ h}$ ),相同沉积时间( $90 \text{ s}$ )的 3 个样品。图 4 为第一系列 3 个样品的光吸收谱图。可以看到,近紫外区出现了强吸收峰,当沉积时间分别为  $90 \text{ s}$ ,  $60 \text{ s}$ ,  $30 \text{ s}$  时,对应的吸收峰位分别在  $352 \text{ nm}$ ,  $368 \text{ nm}$  及  $377 \text{ nm}$ ,吸光度分别为  $2.412$ ,  $2.143$  和  $1.693$ ,半峰全宽分别为

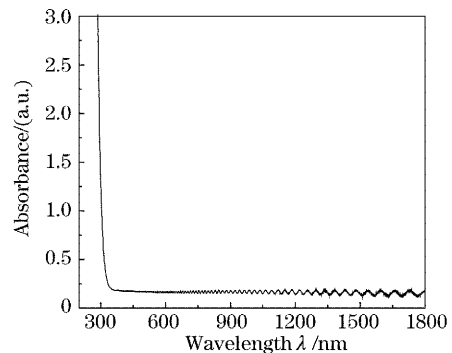


图 2 多孔阳极氧化铝空模板的光吸收谱  
Fig. 2 Absorption spectrum of the porous anodic aluminum oxide membrane

基于上述模板纳米孔结构的特点,可推测用电化学方法在其孔洞内生长材料的几何形态。其径向尺度受模板孔径的制约,其轴向尺度即长度可通过沉积时间进行有效控制<sup>[20]</sup>。即在模板内嵌入生长的各类材料的表观形态可以是纳米粒子,纳米棒或纳米线。图 3 为用  $1 \text{ mol/L}$  的  $\text{NaOH}$  溶去模板后的 Ag 纳米粒子(或线)的电镜照片,清楚地反映了上述的表观形貌特征。

$69.2 \text{ nm}$ ,  $72.3 \text{ nm}$  和  $104.4 \text{ nm}$ 。可见,当选用相同孔径的模板,随着沉积时间的延长,Ag 纳米粒子的长径比增大,其复合结构的吸收峰位稍有蓝移,强度增强,且峰形逐渐变锐。根据 Ag 的等离子激元  $\hbar\omega_t = 3.85 \text{ eV}$ <sup>[17]</sup>,及相应的吸收波长  $\lambda = 323 \text{ nm}$ ,可确定观察到的位于近紫外区的强吸收峰是 Ag 纳米粒子所产生的表面等离子激元共振吸收。

图 4(b)为第二系列 3 个样品的光吸收谱图。可以看到,选择不同孔径的模板,即阳极氧化电压分别为  $10 \text{ V}$ ,  $15 \text{ V}$  和  $18 \text{ V}$ ,而沉积时间完全相同的情况下,该系列复合结构的表面等离子共振吸收峰依

次位于 352 nm, 355 nm 及 357 nm, 吸光度分别为 2.412, 1.729 和 1.472。尽管该系列样品的沉积时间相同, 不妨认为 Ag 的沉积量相同, 然而由于模板的孔径不同, 其结构内生成的纳米粒子的长径比也显然不同。由此, 根据该测试结果, 仍可得出与第一

系列样品完全相似的结论, 即当 Ag-AAO 复合结构中 Ag 纳米粒子的长径比增大时, 其吸收峰位发生稍许蓝移, 强度渐强, 且峰形变锐; 反之, 随 Ag 纳米粒子长径比的减小, 其吸收峰位发生小量红移, 强度减弱, 且峰形逐渐展宽。

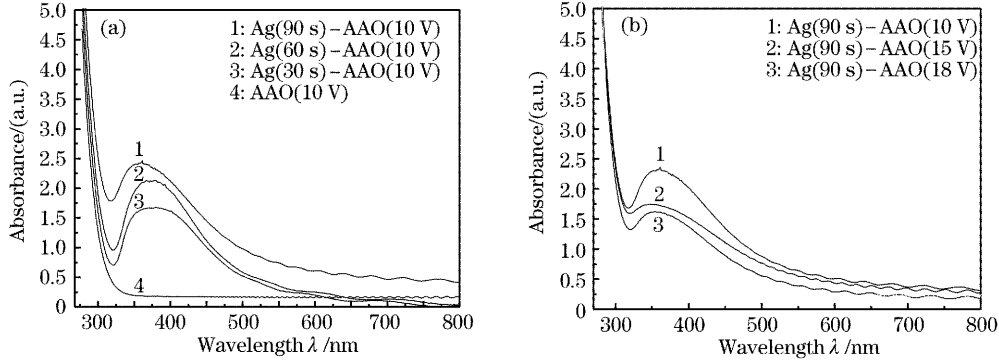


图 4 相同孔径模板序列的(a), 相同沉积时间序列的(b)Ag-AAO 阵列复合结构的光吸收谱

Fig. 4 Absorption spectrum of Ag-AAO array composite with the same AAO membrane (a), the same deposition time (b)

考察 Ag-AAO 有序阵列复合结构光吸收特性时发现, 该类结构的表面等离子共振吸收峰出现的位置与文献[4~9]给出的结果有很大的不同。前者出现在 352~377 nm 波段内, 而后者却出现在 417~436 nm 波段。这种不同也许与各自所选用的介质载体材料和复合结构的形态不同有关。

3.2 理论定性模拟与分析

在 Ag-AAO 复合结构中, 离散的 Ag 纳米粒子(或线)呈高度有序的轴对称阵列排布形式, 且在测试过程中其轴向与入射光方向一致, 这近乎为麦克斯韦-加尼特光学有效介质理论的理想化光学模型<sup>[18]</sup>。因此, 拟尝试用该理论定性讨论和模拟其光吸收特性。复合结构总线性吸收系数  $\alpha$  及有效介电函数的表达如下:

$$\alpha = \frac{18\pi f_m \epsilon_0^{3/2}}{\lambda} \frac{\epsilon''_m}{(\epsilon'_m + k_m \epsilon'_0)^2 + \epsilon''_m{}^2}, \quad (1)$$

$$\epsilon_c = \epsilon_0 \frac{f_m k_m (\epsilon_m - \epsilon_0) + \epsilon_m + k_m \epsilon_0}{\epsilon_m + k_m \epsilon_0 - f_m (\epsilon_m - \epsilon_0)}, \quad (2)$$

式中  $\epsilon_m$  是金属组分的复介电函数,  $\epsilon'_m, \epsilon''_m$  分别是其实部与虚部;  $\epsilon_0$  为介质载体的复介电函数,  $\epsilon'_0$  是  $\epsilon_0$  实部;  $f_m$  表示金属组分的体积分数;  $\lambda$  为入射光波长;  $k_m$  是金属组分的消光系数, 可由纳米粒子的长径比  $(a/d)$  近似表达为:  $k_m \approx 1 + d/a$ , 二者之间的关系如图 5 所示。

由(1)式可得出两点结论: 第一, 复合结构的吸光度随 Ag 沉积量的增加而增大, 即当确定模板的结构参量后, 其复合结构的吸光度随 Ag 纳米粒子长径比的增大而增大, 这与实验结果相一致。第二,

当  $\epsilon'_m + k_m \epsilon'_0 = 0$  时, 吸收取得极大值,

$$\alpha = \frac{18\pi f_m \epsilon_0^{3/2}}{\lambda} \frac{1}{\epsilon''_m};$$

再由(2)式不难看出, 在材料组分确定后的多孔阳极氧化铝复合体系中, 影响其介电函数  $\epsilon$  的重要参量是  $f_m$  及  $k_m$ , 二者均可通过沉积时间和模板的结构参量来控制, 实现对复合体系光学特性的调控。根据(2)式计算模拟了该结构等离子共振吸收峰位、强度及其与 Ag 纳米粒子长径比之间的依赖关系。

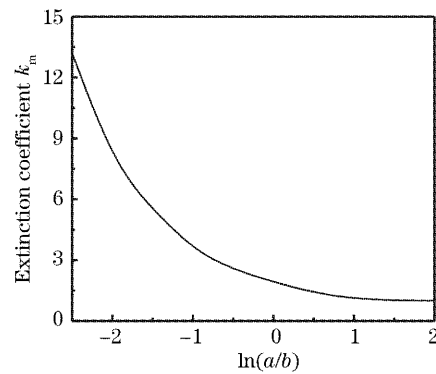


图 5 消光系数  $k_m$  随纳米线长径比的变化曲线  
Fig. 5 Extinction coefficient ( $k_m$ ) variation curve with the aspect ratio

物质的光学性质可由介电响应函数  $\epsilon(\omega) = \epsilon'(\omega) + i\epsilon''(\omega)$  唯一的确定,  $\epsilon$  与表征体系色散的折射率  $n$  及消光系数  $k$  的关系为  $\epsilon(\omega) = (n + ik)^2$ , 可将复合结构的消光系数表达为

$$k = \{[(\epsilon'^2 + \epsilon''^2)^{1/2} - \epsilon']/2\}^{1/2}, \quad (3)$$

由于介电函数的虚部起源于光吸收过程, 因此, 当光

电磁波在真空中的波长为  $\lambda_0$  时,吸收系数和消光系数之间的关系为

$$\alpha(\omega) = \frac{\omega \varepsilon''(\omega)}{nc} = \frac{4\pi k(\omega)}{\lambda_0}, \quad (4)$$

依据上述表达式,计算得到了 Ag-AAO 阵列复合结构光吸收的理论模拟谱图(如图 6 所示)。在该模拟谱图中,当 Ag 的沉积时间为 90 s,60 s 和 30 s 时,其表面等离子共振吸收峰分别位于 331 nm,337 nm,340 nm,对应的强度依次为 2.544,1.834 和 1.339。随 Ag 纳米粒子长径比的减小,吸收峰位发生红移,强度减弱,但峰形并无明显变化。在金属复合体系中,当金属组分的感应电场达最大值时,吸收强度也相应达到最大值。在 Ag-AAO 有序阵列复合结构中,根据麦克斯韦-加尼特理论,这一位置应出现在  $\varepsilon'_m = -k_m \varepsilon'_0$  处。由于  $\varepsilon'_m$  为负值且在等离子吸收边附近递减,因此,随着消光系数  $k_m$  的增大,亦即 Ag 纳米粒子长径比的减小,其共振吸收出现的位置便会逐渐红移。

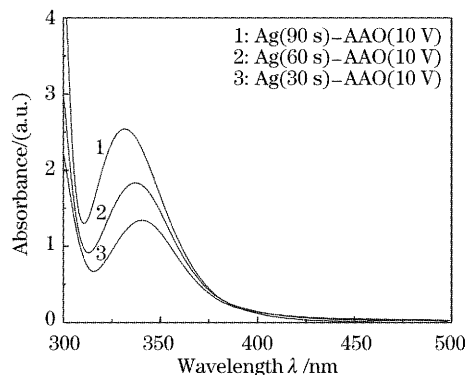


图 6 Ag-AAO 有序阵列复合结构光吸收理论模拟谱图

Fig. 6 Simulated absorption spectra of the Ag-AAO nano-array composite

虽然用麦克斯韦-加尼特理论的模拟结果与实验规律基本相符,但理论模拟峰位较实验峰位蓝移,且在理论模拟谱中其吸收峰没有出现明显的宽化。其主要原因是该理论基于经典电磁理论而没有考虑由金属纳米粒子的量子尺寸效应引起的对介电函数的修正,并在模拟计算过程中将复合结构近似处理为理想结构模型。模板中的微孔与大气相通,这会使暴露于大气的 Ag 纳米粒子由于高的表面活性而易于吸附空气中的  $O_2$ ,从而也会引起吸收峰的频移和宽化。这些问题尚待作进一步的深入研究。

## 4 结 论

通过采用相同孔径的多孔阳极氧化铝模板,控

制不同的沉积时间或采用不同孔径的模板,相同沉积时间,分别制备了两个序列的 Ag-AAO 纳米有序阵列复合结构,分别对这两个序列的样品进行了形貌表征和光吸收特性的研究。实验结果表明,该类结构的 Ag 表面等离子共振吸收峰位于  $\lambda = 352 \sim 377$  nm 范围内,可通过改变 Ag 纳米粒子的长径比实现对吸收峰的调控,即随长径比的增大,吸收峰位蓝移,强度增大,峰形变锐;反之,随着纳米粒子长径比的减小,吸收峰位发生红移,强度减弱且峰形逐渐宽化。运用有效介质理论对复合结构的光吸收特性进行了理论模拟,其计算结果与实验规律基本相符,较好地阐释了峰位频移与 Ag 纳米粒子长径比之间的变化规律。

## 参 考 文 献

- 1 A. J. Yin, J. Li, W. Jian *et al.*. Fabrication of highly ordered metallic nanowire arrays by electrodeposition[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2001, **79**(7): 1039~1041
- 2 F. Niu, B. Cantor, P. J. Dobson. Microstructure and optical properties of Si-Ag nanocomposite films prepared by co-sputtering [J]. *Thin Solid Films*, 1998, **320**: 184~191
- 3 Jianyu Liang, Hope Chik, Jimmy Xu. Nonlithographic fabrication of lateral superlattices for nanometric electromagnetic-optic applications [J]. *Ieee J. Selected Topics in Quantum Electronics*, 2002, **8**(5): 998~1008
- 4 Weihua Xu, Takashi Kyotani, Bhabendra K. Pradhan *et al.*. Synthesis of aligned carbon nanotubes with double coaxial structure of nitrogen-doped and undoped multiwalls [J]. *Adv. Mater.*, 2003, **15**(13): 1087~1090
- 5 Shihui Ge, Xiao Ma, Cao Li *et al.*. Fabrication of electrodeposited Co nanowire arrays with perpendicular anisotropy [J]. *J. Magnetism and Magnetic Materials*, 2001, **226~230**: 1867~1869
- 6 Melissa S. Sander, Le-Shon Tan. Nanoparticle arrays on surfaces fabricated using anodic alumina films as templates [J]. *Adv. Funct. Mater.*, 2003, **13**(5): 393~197
- 7 Jin-kyu Lee, Weon-kyu Koh, Weon-sik Chae *et al.*. Novel synthesis of organic nanowires and their optical properties [J]. *Chem. Commun.*, 2002, **21**(2): 138~139
- 8 Shoushan Fan, Michael G. Chapline, Nathan R. Franklin *et al.*. Self-oriented regular arrays of carbon nanotubes and their field emission properties [J]. *Science*, 1999, **283**(5401): 512~514
- 9 C. P. Collier, E. W. Wong, M. Belohradsky *et al.*. Electronically configurable molecular-based logic gates [J]. *Science*, 1999, **285**: 391~394
- 10 Cai Weiping, Zhang Lide. The semiconductor properties of the Ag/SiO<sub>2</sub> composite [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, **44**(22): 221~222 (in Chinese)
- 蔡伟平, 张立德. 银/二氧化硅孔复合体的半导体光学特性 [J]. *科学通报*, 1999, **44**(22): 221~222
- 11 Shi Shouhua, Sun Zhaoqi, Sun Daming. Microstructure and absorption spectra of Ag-MgF<sub>2</sub> nanocrystalline cermet film [J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(5): 622~626 (in Chinese)
- 史守华, 孙兆奇, 孙大明. Ag-MgF<sub>2</sub> 复合纳米金属陶瓷薄膜的微结构及吸收光谱特性研究 [J]. *光学学报*, 2002, **22**(5): 622~626
- 12 Zhang Qifeng, Hou Shimin, Zhang Gengmin *et al.*. Double-peak structure in optical absorption spectrum of Ag-BaO composite

- thin film[J]. *Vacuum Science and Technology*, 2001, **21**(6): 423~430 (in Chinese)
- 张琦峰,侯士敏,张耿民等. Ag-BaO 复合薄膜光吸收谱中的双峰结构[J]. *真空科学与技术*, 2001, **21**(6): 423~430
- 13 Lin Lin, Wu Jinlei. Study of red-blue-violet photoluminescence from Ag-BaO nanometer thin film[J]. *Acta Physica Sinica*, 1999, **48**(3): 491~496 (in Chinese)
- 林 琳,吴锦雷. Ag-BaO 纳米薄膜红、蓝紫光波段光致荧光现象研究[J]. *物理学报*, 1999, **48**(3): 491~496
- 14 Li Lijun, Wu Jinlei. Photoabsorption of complex thin films of noble metal particles embedded in matrix (Au-BaO,Cu-BaO)[J]. *Acta Optica Sinica*, 1998, **18**(11): 1551~1555 (in Chinese)
- 李丽君,吴锦雷. 金属微粒-介质复合薄膜(Au-BaO,Cu-BaO)的光吸收[J]. *光学学报*, 1998, **18**(11): 1551~1555
- 15 Li Yan, Wang Chengwei, Tian Jun *et al.*. Optical properties of ordered Co/AAO nano-array composite structure [J]. *Acta Physica Sinica*, 2004, **53**(5): 1594~1598 (in Chinese)
- 李 燕,王成伟,田 军等. 钴/氧化铝纳米有序阵列复合结构的光学特性研究[J]. *物理学报*, 2004, **53**(5): 1594~1598
- 16 Wang Chengwei, Wang Jian, Li Yan *et al.*. Determination of the optical constants of porous anodic aluminum oxide films[J]. *Acta Physica Sinica*, 2005, **54**(1): 429~433 (in Chinese)
- 王成伟,王 建,李 燕,等. 多孔阳极氧化铝薄膜光学常数的确定[J]. *物理学报*, 2005, **54**(1): 429~433
- 17 Xue Zengquan, Wu Quande, Li Hao. *Thin Film Physics* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry 1991. 432
- 薛增泉,吴全德,李 浩. 薄膜物理[M]. 北京:电子工业出版社, 1991. 432
- 18 Colby A. Foss, Michael J. Tierney, Charles R. Martin. Template synthesis of infrared-transparent metal microcylinders: comparison of optical properties with the predictions of effective medium theory[J]. *J. Phys. Chem.*, 1992, **96**: 9001~9007

## 第 17 届全国激光学术会议在绵阳召开

第 17 届全国激光学术会议于 2005 年 10 月 19~22 日在四川绵阳富乐山大酒店召开。大会名誉主席由周炳琨院士担任,会议主席为范滇元院士和杜祥琬院士。本次会议由中国光学学会与中国电子学会联合主办,中国工程物理研究院应用电子学研究所承办,中国科学院上海光学精密机械研究所等单位协办。



会议邀请了周炳琨、刘盛纲等 12 位院士和专家作大会邀请报告。共有 350 多名来自高校、研究所以及公司激光领域的研究人员参加了本次会议。按照研究方向大会共设四个分会,分别是激光物理、非线性光学、高能固体激光与超短脉冲激光,新型激光器、激光技术及晶体材料,激光应用,光束传输、激光薄膜及元器件。本次大会共收到论文 322 篇,录用大会报告 250 篇,其中分会邀请报告 17 篇。除了学术报告之外,大会还邀请了顶尖国际等著名公司的研发人员做了关于激光器及各种激光产品的介绍报告。最后,与会人员参观了中国工程物理研究院的神光 III 原型装置实验室。

全国激光学术会议每两年召开一次。本次会议的部分优秀论文,将由《中国激光》以增刊形式出版。

(王晓峰)