

# SiO<sub>2</sub>溶胶及其静电自组装薄膜的制备\*

许丕池<sup>a\*\*</sup>, 姜德生<sup>b</sup>, 余海湖<sup>b</sup>, 李小甫<sup>b</sup>, 李鸿辉<sup>b</sup>

( a. 西南科技大学材料学院, 绵阳 621010; b. 武汉理工大学光纤中心, 武汉 430070 )

**摘要:** 采用 HCl 催化、NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 催化、HCl 与 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 分步催化三种途径制备了 SiO<sub>2</sub> 胶体, 用透射电镜观察了胶体粒子的形貌. 用静电自组装 (ESAM) 法制备了聚电解质 PDDA 与 SiO<sub>2</sub> 胶体粒子的有机/无机复合光学薄膜. 实验结果表明, 用 HCl 催化制备的 SiO<sub>2</sub> 透明溶胶不适合于用 ESAM 法制备薄膜, 用 HCl 与 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 分步催化以及用 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 单独催化制备的 SiO<sub>2</sub> 胶体适合于用 ESAM 法制备光学薄膜. 薄膜的透射电镜微观察结果表明, 以 HCl 与 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 分步催化的 SiO<sub>2</sub> 胶体制备的 PDDA/SiO<sub>2</sub> 薄膜为连续结构, NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 单独催化的为颗粒堆积. 研究了薄膜透光率与薄膜层数的关系, 考察了薄膜的机械强度. 结果显示, 以 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 单独催化的 SiO<sub>2</sub> 胶体制备的光学薄膜的增透效果较好, 但耐机械擦伤强度较弱.

**关键词:** SiO<sub>2</sub>; 溶胶; 静电自组装; 复合薄膜

中图分类号: O647 文献标识码: A

## Preparation of Silica Sols and Anti-Reflective Films with Electrostatic Self-Assembly Multilayer Method\*

Xu Pichi<sup>a\*\*</sup>, Jiang Desheng<sup>a</sup>, Yu Haihu<sup>a</sup>, Li Xiaofu<sup>a</sup>, Li Honghui<sup>a</sup>

( a. The Department of Material, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010;

b. Fiber Optic Sensing Technology Research Center, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070 )

**Abstract** Silica sols were prepared by hydrolysis of Si(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub> (TEOS) using HCl, NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O, HCl/NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O as catalyzers, and the different granularities of SiO<sub>2</sub> sols which catalyzed by HCl first and then NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O have the same terminal pH value were prepared. The silica colloidal particles were investigated with Transmission Electron Microscope (TEM). The results showed sol catalyzed by HCl possesses very little particle, catalyzed by NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O has particle configuration, catalyzed by HCl/NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O possesses consecutive configuration. Poly(diallyldimethylammonium chloride) (PDDA) and SiO<sub>2</sub> nanoparticulate complex thin films were prepared by electrostatic self-assembly multiplayer (ESAM) method. After assembling films, thin films surface conformation was observed with Electron Microscope and their transmittance was tested with 721 Spectrophotometer. The results showed that the silica sol catalyzed with HCl is not good for the fabrication of ESAM films and the silica sol catalyzed with HCl first and then NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O or by NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O only are very suitable for ESAM film fabrication. TEM data indicate that the microstructure of PDDA/SiO<sub>2</sub> prepared from silica sol catalyzed with HCl first and then NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O is consecutive and that the microstructure of PDDA/SiO<sub>2</sub> prepared from silica sol catalyzed by NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O only is particulate-parking like. The dependence of the transmittance of assembled films on the bilayer number of the films and the anti-scratching properties of the films were investigated. The results show that PDDA/SiO<sub>2</sub> films prepared from silica sol catalyzed

\* Project supported by the Natural Science Foundation of Hubei province (2000J002).

\*\* Corresponding author, E-mail: xupichi54@163.com Received 21 January 2003; in final form 21 February 2004.

by  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  only possess higher transmittance but lower anti-scratching properties. The effect of granularity of sols on optical performances of the thin films was studied, results showed the less the granularity of sol, the better the optical performances. For the sake of improving the light transmittance of films, we can reduce the granularity of sol, but it may play down its mechanical damage resist intensity.

**Keyword**  $\text{SiO}_2$ , Sol, Electrostatic self-assembly multilayer, Complex film

## 1 引言

传统的光学薄膜包括增透膜、高反膜、滤光膜、偏振/消偏振膜等<sup>[1]</sup>. 科学的发展使得光学/光电子薄膜渗透到众多领域,应用日趋广泛,如应用光学薄膜提高激光光源的光谱特性,制备减反膜以减小 WDM 光纤通信系统中器件的插入损耗,以光学薄膜元件充当光网络中的光插/分复用器,在器件的端面制备高反膜减小光信号的串扰等<sup>[2]</sup>. 光电子器件薄膜的应用要求很高,不仅要求光学性能好,而且要求机械性能和抗激光损伤能力也很高. 光电子薄膜的制备,必须选择适当的薄膜材料以及适当的制备工艺. 现在光电子薄膜的制备技术主要有溅射成膜、化学气相淀积、溶胶-凝胶等许多种方法. 近年来,静电自组装(Electrostatic Self-Assembly Multilayer, ESAM)法<sup>[3]</sup>制膜技术也应用于光电子薄膜的制备,ESAM 法通过带相反电荷的聚离子或荷电微小粒子交替沉积,依靠静电引力吸附成膜,不需要形成化学键,具有在分子水平控制膜的组成和结构的特性,厚度和应力分布均匀,热稳定和长期稳定性较好<sup>[4,5]</sup>. 近年来已有人利用 ESAM 法制备了发光器件、导电膜、非线性光学器件等<sup>[6,7]</sup>,显示出这种技术在光、电、磁等学科领域有广阔的应用前景.

$\text{SiO}_2$  在光电子薄膜中的应用较广泛,用 Sol-gel 法制备多孔的低折射率薄膜、聚合物与  $\text{SiO}_2$  的纳米复合薄膜<sup>[8,9]</sup>.

本工作采用三种催化途径制备了  $\text{SiO}_2$  胶体,以 ESAM 法制备了聚二烯丙基二甲基氯化铵(Poly(diallyldimethylammonium chloride), PDDA)与  $\text{SiO}_2$  胶体的复合薄膜,研究了溶胶颗粒对薄膜光学性能和机械性能的影响,以及薄膜的光学性能与薄膜厚度和波长的关系.

## 2 实验

### 2.1 胶体的制备

试验一:以 HCl 为催化剂、正硅酸乙酯(TEOS,  $\text{SiO}_2$  含量为 28.4%)为原料、乙醇(EtOH,分析纯)

为溶剂,制备了  $\text{SiO}_2$  透明溶胶,其中  $\text{H}_2\text{O}$  与 TEOS 的摩尔比  $R = 4:1$ ,溶胶的  $\text{pH} = 2.2$ . 用体积比  $\text{EtOH}:\text{H}_2\text{O} = 1:1$  的乙醇-水溶液(以下均同)稀释,使  $\text{SiO}_2$  含量为 10 g/L,陈化后备用;以氨水为催化剂, $R = 4:1$ ,溶胶的  $\text{pH} = 7.5$ ,制备了  $\text{SiO}_2$  乳白色溶胶,用乙醇-水溶液稀释,使  $\text{SiO}_2$  含量为 10 g/L,陈化后备用.

实验二:按试验一的 HCl 催化步骤, $R = 2:1$ ,溶胶的  $\text{pH} = 2.0$ ,搅拌 2 h,加入  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  的乙醇溶液,使  $R = 4:1$ ,溶胶的  $\text{pH} = 7.5$ . 10 min 后溶胶开始出现乳白色,1.5 min 后开始凝胶. 加入大量乙醇-水溶液稀释,亦不能恢复成溶胶.

实验三:HCl 与  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  分步催化制备两份  $\text{SiO}_2$  溶胶. 按实验二的步骤,当第一份出现乳白色 10 s 后立即加入 HCl 溶液,以及乙醇-水溶液,此时溶胶的  $\text{pH} = 2.0$ ,搅拌 2 h, $\text{SiO}_2$  的含量为 10 g/L,陈化后备用,让第二份乳白色加深、颗粒长大,出现乳白色 1 min 后,即在未胶凝前加入 HCl 溶液以及乙醇-水溶液,溶胶的  $\text{pH} = 2.0$ ,搅拌 2 h, $\text{SiO}_2$  的含量为 10 g/L,陈化后备用.

### 2.2 基片的处理

将载玻片按文献[4]的方法清洗干净,然后用“piranha”法处理<sup>[10]</sup>,让其表面羟基化.

### 2.3 薄膜的制备及表征

利用 ESAM 法制备聚电解质 PDPA 与  $\text{SiO}_2$  胶体粒子的复合薄膜. 首先将处理好的基片浸入 PDPA 溶液中,浸泡 5 min 取出,用去离子水清洗;接着浸入  $\text{SiO}_2$  溶胶中,浸泡 10 min 取出,用去离子水清洗;所用的去离子水呈中性. 一层 PDPA 和一层  $\text{SiO}_2$  合在一起称为一个双层. 每组装两个双层,吹干,用 721 分光光度计测试样品的透射率. 薄膜组装到一定厚度后,用刀片将薄膜刮下,采用透射电镜(TEM, JEOLJEM-200 CX)观察其微观结构. 薄膜的耐擦伤强度测试采用 Floch 等使用的方法<sup>[11]</sup>,用光学镜头纸擦拭薄膜 10 次,目视观测膜层表面的损伤状况,并用 100 倍光学显微镜精细观察. 附着力测试过程是,将 1 cm 加宽胶带纸粘贴在薄膜表面,沿与薄膜

表面成 45°角快速揭下胶带纸,用新鲜胶带纸在同一处重复粘揭 10 次,膜层损伤情况观测方法同上。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 SiO<sub>2</sub> 胶体的微观结构及薄膜的制备

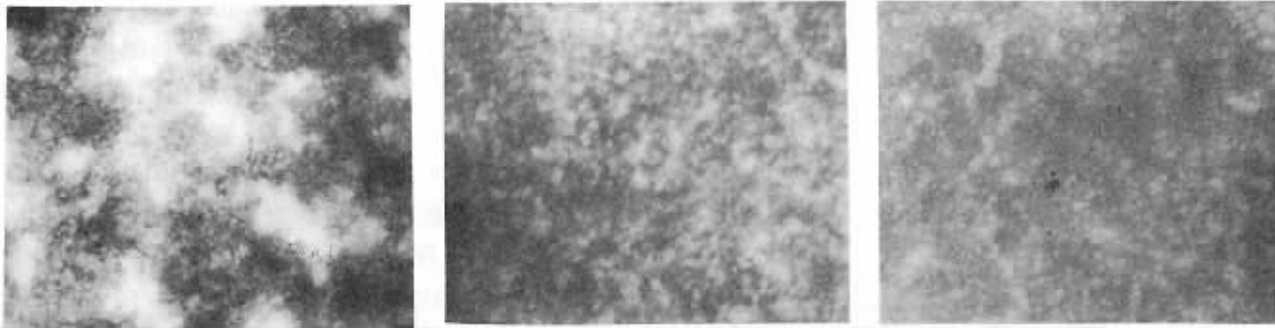
HCl 催化的 SiO<sub>2</sub> 透明溶胶用 ESAM 法制备薄膜,基片在镀膜前后的透射率不变,说明 HCl 催化的 SiO<sub>2</sub> 透明溶胶不适合用 ESAM 法镀膜。HCl 与 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 分步催化以及用 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 单独催化制备的 SiO<sub>2</sub> 溶胶能用 ESAM 法制备薄膜。由 ESAM 的原理可知,每镀一层薄膜,均要求有较多的表面电荷剩余。TEOS 在 HCl 催化下属于亲电取代反应<sup>[12]</sup>,容易形成聚合度小、链状、交联度低的 SiO<sub>2</sub> 透明溶胶,胶粒所带电荷数量较少,组装薄膜时不能与前后层形成牢固的连接,在清洗阶段容易被冲洗掉。在 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 催化条件下,醇盐水解是 OH<sup>-</sup> 的亲核反应<sup>[11]</sup>,水解与缩聚过程都较迅速,胶体粒子易聚集为直径较大的颗粒,胶粒表面所带电荷能满足 ESAM 法镀膜要求,图 1b 中颗粒直径在 7 nm 左右。以

TEOS 为前驱物,用 HCl 与 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 分步催化制备了 SiO<sub>2</sub> 溶胶时,催化剂 HCl 先使 TEOS 水解一部分,胶体缩聚为细小的链状结构,再经 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 催化,TEOS 水解完成更快,并加速缩聚,原先的长链在加速水解的同时相互连接、缠绕,形成三维的网状结构,胶粒所带电荷多,更有利于 ESAM 膜的制备,如图 1c 在 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 催化阶段,出现乳白色后反应时间越长,形成的网络越大,最后需加入 HCl 使溶胶的 pH < 4,以抑制胶粒过分长大。

制备溶胶及薄膜的环境条件是:室温(25℃左右),相对湿度约 80% RH。

#### 3.2 薄膜的微观结构及光谱特性

由图 2 可知,单以 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 催化的 SiO<sub>2</sub> 溶胶制备的薄膜为颗粒状结构,存在粒子堆积成团的情况,胶体粒子的粒径在 10 nm 左右,薄膜具有相当高的孔隙率。用 HCl 与 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 分步催化的 SiO<sub>2</sub> 溶胶所制备的薄膜为连续结构,致密度大于 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 催化的溶胶制备的薄膜,虽也有孔洞,但孔隙率较低。另外,相对于图 1 可知, SiO<sub>2</sub> 胶粒在组装成膜过



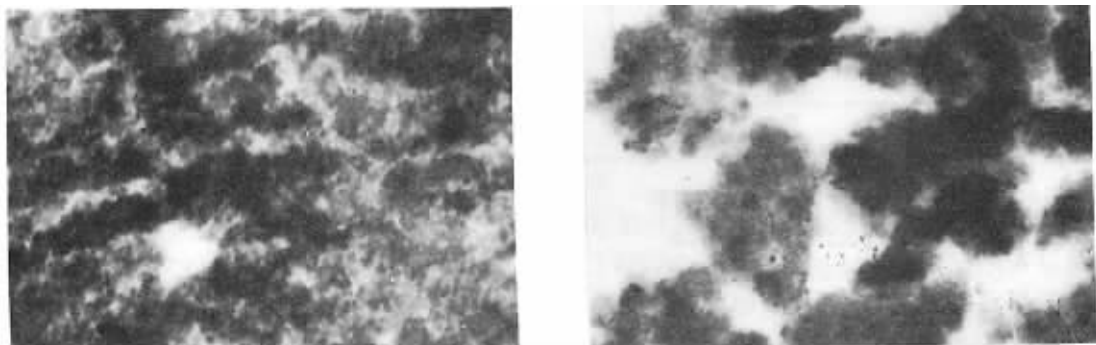
a. HCl catalysis(  $5.8 \times 10^4$  )

b. HCl + NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O catalysis(  $\times 10^5$  )

c. NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O catalysis(  $\times 10^5$  )

图 1 不同催化条件下形成的 SiO<sub>2</sub> 溶胶的 TEM 图像

Fig. 1 TEM images of SiO<sub>2</sub> sols prepared at different catalysis conditions



a. Catalyzed by NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O(  $\times 10^5$  )

b. Catalyzed by HCl first and then NH<sub>3</sub>(  $5.8 \times 10^4$  )H<sub>2</sub>O

图 2 PDDA/SiO<sub>2</sub> 复合薄膜的 TEM 图像

Fig. 2 TEM images of PDDA/SiO<sub>2</sub> complex thin films

程中发生了聚集.

由图 3、图 4 可知,  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  催化的  $\text{SiO}_2$  溶胶制备的 ESAM 薄膜增透效果好,  $\text{HCl}$  与  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  分步催化的  $\text{SiO}_2$  溶胶所制备的薄膜增透效果较差, 且随  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  催化时间的延长而降低. 胶体粒度的大小影响透射光谱到达峰位的快慢和峰值的大小, 胶体颗粒度小, 光谱到达峰位需要镀的层数多, 但峰值较高. 薄膜的透射率与光在薄膜中的干涉现象有关. 在相同的镀膜条件下, 如果光垂直入射, 薄膜光学厚度计算公式为

$$mdn_2 = \frac{\lambda}{4} \quad (1)$$

其中,  $m$  为薄膜的双层数;  $d$  为每一层的几何厚度;  $n_2$  为薄膜的折射率. 当薄膜的光学厚度  $mdn_2$  为光波长  $\lambda$  的  $1/4$  的整数倍时, 透射曲线达到极值. 胶体粒子的颗粒度越小, 组成薄膜的每一层的  $d$  值越小, 光学厚度  $dn_2$  越小. 另外, 根据材料折射率与孔隙率

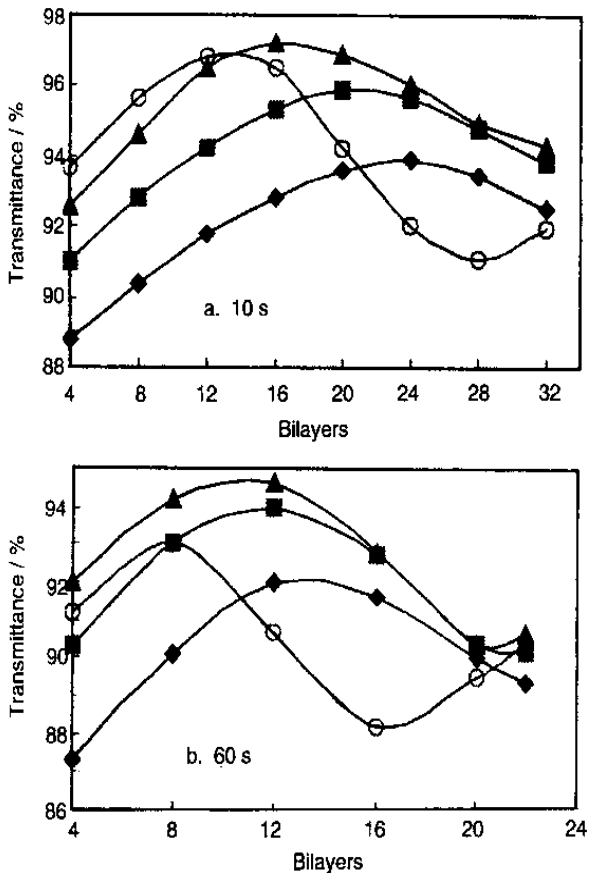


图 3  $\text{HCl}$  与  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  分步催化的  $\text{SiO}_2$  溶胶 ( $\text{pH} = 2.0$ ) 植被的复合薄膜不同波长处的透射率随薄膜层数的关系曲线

Fig. 3 The transmittance of the PDDA/ $\text{SiO}_2$  complex thin films against the bilayer numbers of the films at different wavelength ( $\text{SiO}_2$  sol catalyzed by  $\text{HCl}$  first and then by  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )  
◆ 800 nm, ■ 680 nm, ▲ 560 nm, ○ 440 nm.

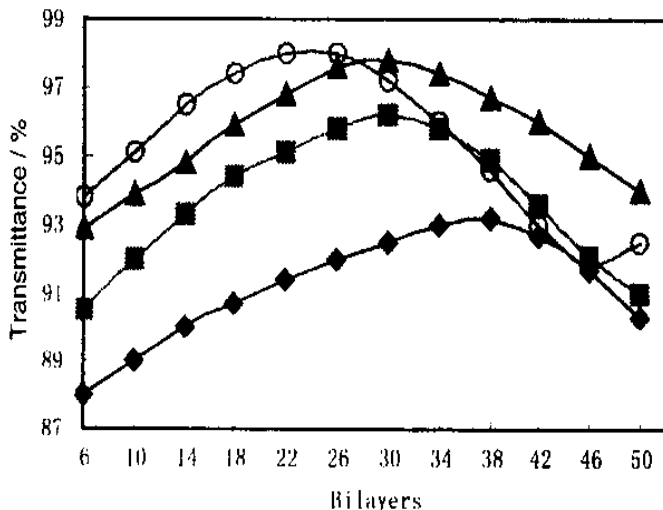


图 4  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  催化制备的  $\text{SiO}_2$  溶胶 ( $\text{pH} = 7.5$ ) 的静电自组装复合薄膜不同波长处的透射率随层数的变化关系曲线

Fig. 4 The transmittance of the PDDA/ $\text{SiO}_2$  complex thin films against the bilayer numbers of the films at different wavelength ( $\text{SiO}_2$  sol catalyzed by  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  only)  
◆ 800 nm, ■ 680 nm, ▲ 560 nm, ○ 440 nm

间的关系<sup>[13]</sup>:

$$n_f^2 = (n_d^2 - 1) \chi + 1 \quad (2)$$

其中,  $n_f$  与  $n_d$  分别为多孔和致密材料的折射率;  $p$  为薄膜孔隙率的百分比,  $p$  越大, 所形成薄膜的折射率  $n_f$  越小, 此处的  $n_f$  可用  $n_d$  代替. 由图 1、图 2 以及上述胶体形成机理可知,  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  催化制得的  $\text{SiO}_2$  胶体为纯的颗粒状, 形成薄膜的孔隙率大,  $n_2$  较小.  $\text{HCl}$  与  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  分步催化的  $\text{SiO}_2$  胶体制备的薄膜相对致密, 孔隙率较低, 则  $n_2$  较大, 不仅如此, 由于  $\text{SiO}_2$  胶粒表面电荷较多, 成膜时与上下层结合力强, 也能使薄膜致密, 导致  $n_2$  增大. 因此,  $\text{HCl}$  与  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  分步催化制得的  $\text{SiO}_2$  胶体形成的薄膜每一双层的光学厚度  $dn_2$  较大, 且  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  催化阶段时间越长,  $dn_2$  越大. 因此, 图 3 的曲线比图 4 中的到达峰位的速度快, 图 3 中 b 的速度较 a 的速度快. 以载玻片为基片, 玻璃本身的折射率为 1.52, 如果膜层的平均折射率降低到 1.23, 理想的透过率可达到 99.9%<sup>[11]</sup>. 则如果薄膜的孔隙率越大, 折射率越小, 越接近 1.23, 增透效果就越好. 因此,  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  催化的  $\text{SiO}_2$  胶体制备的 ESAM 薄膜增透效果较好. 另外, 颗粒越大, 胶粒表面所带电荷越多, 与上下层的连接越牢固, 薄膜更加致密, 则薄膜的折射率越大, 透光率减小.

由图 5 可知,  $\text{SiO}_2$  增透膜透射光谱随层数变化的曲线, 对于每一波长, 最大透射率在第一个波峰

处. 用光电极值法<sup>[14]</sup>来估算薄膜的厚度, 所谓光电极值法, 是指当薄膜的光学厚度达到  $\lambda/4$  的整数倍时, 薄膜的反射率或透射率出现极值, 据此来计算膜厚. 计算得每一双层平均光学厚度为 8.8 nm, 由于知道薄膜的折射率在理想的薄膜折射率 1.23 与基片的折射率 1.52 之间, 由上述薄膜的光学厚度计算公式, 可估算出薄膜每一双层的几何厚度在 5.8 ~ 7.2 nm. 可见, 我们可以在纳米量级控制薄膜厚度.

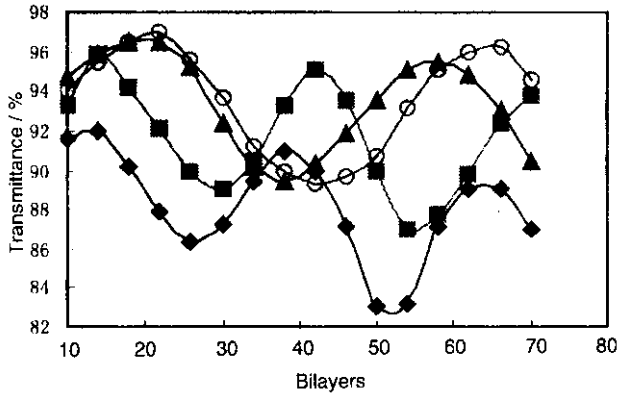


图 5 DDA/SiO<sub>2</sub> 复合薄膜不同波长处的透射率随层数的变化关系曲线

Fig. 5 The transmittance of the PDDA/SiO<sub>2</sub> complex thin films against the bilayer numbers of the films at different wavelength  
◆ 360 nm, ■ 400 nm, ▲ 520 nm, ○ 560 nm

由增透膜的原理可知, 只要薄膜满足下列条件, 薄膜透射率就能达到极值: ① 薄膜的折射率  $n_2$  有  $n_1 < n_2 < n_3$  或  $n_1 > n_2 > n_3$ , 且  $n_2 = \sqrt{n_1 n_3}$ ; ② 膜层光学厚度满足  $mdn_2 = l\lambda/4$  ( $l = 1, 3, 5, \dots$ ). 也就是说,

表 1 不同催化条件的胶体所制备薄膜的耐擦伤强度定性比较

Table 1 Qualitative comparison of the scratch-resistance intensity of the films with different catalytic conditions

Catalyst	Time of colloidal particle growing up	Ani-scratching properties	Cohesive
NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	10 s	Damaged seriously	Damaged seriously
HCl first and then NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	10 s	Damaged slightly	Damaged slightly
HCl first and then NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	60 s	Undamaged almost	Undamaged

## 4 结论与展望

用 HCl 催化制备的 SiO<sub>2</sub> 胶体不适合于 ESAM 法制备薄膜. 用 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 催化或 HCl 与 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 分步催化制备了 SiO<sub>2</sub> 溶胶, 后者在相同终点 pH 值下得到了不同颗粒粒径的胶体. NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 催化的

薄膜的透射率随层数变化的曲线应是幅度相同的波浪式, 但试验结果显示(见图 5)透射率随层数的增加峰值减小. 原因在于, 上面所论述的是理想薄膜, 即均匀的、无吸收的透明光学薄膜. 然而, 在现实中是不存在无吸收、完全透明的光学薄膜, 任何介质都或多或少的对各种波长的光会产生吸收. 则根据能量守恒有:

$$I_0 = I_R + I_A + I_T \quad (3)$$

其中,  $I_0$  为入射光强;  $I_R$  为反射光强;  $I_A$  为吸收光强;  $I_T$  为透射光强. 对于均匀吸收的介质, 如果不考虑散射, 被吸收的能量正比于通过的路径  $dx$ :

$$-dI/I_0 = H_0 dx \quad (4)$$

则从 0 到  $x$  积分得:

$$I(x) = I_0 e^{-H_0 x}$$

由此可见, 光通过介质  $1/H_0$  的路径时, 能量就衰减为原来的  $1/e$ . 所以, 我们所见到的曲线峰值呈下降趋势. 另外, 组装时间越长, 薄膜不免会受到空气中灰尘的污染, 则会产生对光的散射.

### 3.3 薄膜耐擦伤强度测试

由表 1 可知, HCl 与 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 分步催化所得的 SiO<sub>2</sub> 溶胶, 制备的 ESAM 薄膜耐机械擦伤强度大. 按照 SiO<sub>2</sub> 溶胶生长模型, 在碱性 ( $pH > 7.5$ ) 催化条件下, 其缩聚速度快, 溶胶颗粒趋向于球形颗粒生长, 形成的薄膜孔隙率高、孔体积大, 相邻颗粒间无连接而机械性能差. HCl 与 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 分步催化的条件下, 不仅胶体本身网络大, SiO<sub>2</sub> 颗粒间建立起有效的连接, 薄膜孔隙率低, 而且所带电荷多, 与上下层的连接更致密, 提高了机械强度.

SiO<sub>2</sub> 胶体用 ESAM 法制备的增透膜增透效果较好, HCl 与 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 分步催化的 SiO<sub>2</sub> 胶体制备的平面薄膜耐机械擦伤性能较好, 但增透效果还有待于提高. 溶胶的制备工艺不同, 则溶胶的颗粒形式和大小不同, 导致所制备的薄膜微观结构的差别, 从而影响薄膜透射曲线的峰位与峰值.

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Wang Xuehua ( 王学华 ), Xu Yiyu ( 薛亦渝 ), Zhao Li ( 赵利 ), *et al. Journal of Wuhan University of Technology* ( 武汉理工大学学报 ), 2002 , **24** : 20
- [ 2 ] Michael S Borella , Jason P Jue , Dhritiman Banerjee , *et al. Proc. IEEE.* , 1997 , **5** : 50
- [ 3 ] Decher G , Hong J D , Schmitt J. *Thin Solid Film* , 1992 , **210 - 211** : 831
- [ 4 ] Sarah L Clark , Paula T Hammond. *Adv. Mater.* , 1998 , **10** : 1515
- [ 5 ] Gao Shuiying ( 高水英 ), Yu Laigui ( 余来贵 ). *Chin. J. Chem. Phys.* ( 化学物理学报 ), 2002 , **15** : 132
- [ 6 ] Sun J Q , Hao E C , Sun Y P , *et al. Thin Solid Films* , 1998 , **528** : 327
- [ 7 ] Zheng Wenjie ( 郑文杰 ), Zeng Xinhua ( 曾鑫华 ), Bai Yan ( 白燕 ), *et al. Chin. J. Chem. Phys.* ( 化学物理学报 ), 2002 , **15** : 461
- [ 8 ] Tang Jiamiao ( 汤加苗 ), Zhu Congshan ( 祝从善 ). *Acta Optica Sinica* ( 光学学报 ), 1998 , **18** : 242
- [ 9 ] Zhu Chunling ( 朱春玲 ), Jiang Wanquan ( 江万权 ), Hu Yuan ( 胡源 ), *et al. Chin. J. Chem. Phys.* ( 化学物理学报 ), 2001 , **14** : 335
- [ 10 ] Wasserman S R , Tao Y T , Whitesides G M. *Langmuir* , 1989 , **5** : 1074
- [ 11 ] Floch H G , Belleville P F. *Proc. SPIE* , 1995 , **2633** : 432
- [ 12 ] Hu Tao ( 胡涛 ). *Electronic Components & Materials* ( 电子元件与材料 ), 1996 , **15** : 52
- [ 13 ] Yoldas B E. *J. Non-Cryst. Solids* , 1986 , **81** : 227
- [ 14 ] Xu Shijun ( 许世军 ). *Physics & Engineering* ( 物理与工程 ), 2001 , **11**( 2 ) : 38

## 2003 年《化学物理学报》优秀学术论文评选揭晓

编者按：2003 年《化学物理学报》主编扩大会议决定，从 2003 年起，每年开展一次本刊年度优秀学术论文评选活动。评选出的优秀学术论文将在本刊公布，并由本刊颁发优秀学术论文证书，以资表彰。2003 年度《化学物理学报》优秀学术论文已经编委通讯评选产生，共 5 篇。现予以公布。

## 2003 年《化学物理学报》优秀学术论文名单( 按得票顺序 )

序号	题 目	页码	作者姓名
1	飞秒时间分辨质谱方法研究 $\text{CF}_3\text{I}$ 光电离动力学	3 ~ 8	尹淑慧, 刘红平, 张建阳, 姜 波, 王 利, 沙国河, 楼南泉
2	飞秒泵浦-探测质谱方法研究苯内转换动力学	171 ~ 175	尹淑慧, 刘红平, 张建阳, 姜 波, 王 利, 沙国河, 楼南泉
3	用于真实蛋白质结构预测的一种新的优化方法	117 ~ 121	卢本卓, 王存新, 王宝翰
4	$\text{Li}_2$ Autler-Townes 分裂的实验观察	357 ~ 362	宋 敏, 易 鹏, 刘耀明, 李 丽
5	竹节状纳米碳纤维的制备及嵌锂性能研究	299 ~ 302	吴国涛, 王 森, 李振华, 陈卫祥, 徐铸德, 李文铸, 陈茂惠, 尤金跨, 林祖赓