

# 不同沉积温度下非晶硅光学薄膜的光学特性研究

罗海瀚 蔡清元 李耀鹏 刘定权

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

**摘要** 光学薄膜的光学特性是薄膜设计与制备的基础。硅材料是红外光学薄膜中一种重要的高折射率材料。研究了在不同沉积温度下非晶硅光学薄膜的折射率和消光系数的变化。结果表明,在 200 °C 时,硅薄膜折射率最大,消光系数随温度升高而减小。

**关键词** 薄膜;非晶硅;光学特性;沉积温度

**中图分类号** O484.4

**文献标识码** A

**doi:** 10.3788/AOS201434.0431001

## Optical Character Study of Silicon Optical Films in Different Deposited Temperature

Luo Haihan Cai Qingyuan Li Yaopeng Liu Dingquan

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract** The optical character of optical thin films is the basis for the design and preparation of thin films. Silicon material is an important material of high refractive index at the infrared optical thin film. The changes of refractive index and extinction coefficient of amorphous silicon optical film in different deposition temperatures are studied. The results show that the silicon film has the maximum refractive index at 200 °C, and the extinction coefficient decreases with temperature increases.

**Key words** thin films; amorphous silicon; optical character; deposited temperature

**OCIS codes** 310.6860; 160.4760; 260.3060

## 1 引 言

随着红外遥感技术的成熟发展<sup>[1]</sup>,其性能指标要求进一步提高。同时也提高了用于光谱选择的光学薄膜的技术指标。光学薄膜材料的折射率、吸收系数等光学特性是影响光学薄膜技术指标的重要因素,直接影响了光学薄膜的设计和制备。硅在 1~9 μm 内具有较好的光谱透射特性,以及熔点高、硬度高、化学稳定性强等优点,在近红外区域是一种很重要的高折射率材料。然而制备出低吸收、高折射率的高性能非晶硅光学薄膜<sup>[2-3]</sup>不是一件容易的事情,沉积温度的变化对非晶硅光学薄膜的光学性能影响很大。本文主要研究了在 1.0~2.5 μm 近红外波段范围内,通过光度法<sup>[4]</sup>拟合非晶硅薄膜在不同沉积温度下的光学特性,综合选择合适的沉积温

度以便满足光学薄膜的设计与制备要求。

## 2 实 验

非晶硅薄膜样品的制备采用成都南光机器有限公司生产的 ZZS800-3/G 型箱式光学镀膜机。蒸发速率和沉积厚度通过美国 INFICON 公司的 IC/5 deposition controller 的石英晶振仪控制。石英晶振片上的监控速率控制为 1 nm/s,基片上沉积速率由于不同温度的沉积效率,略有变化,通过推算基片上实际的沉积速率大致在 0.5 nm/s。晶振监控薄膜镀制厚度为 2 μm。

基片使用厚度为 0.5 mm 的蓝宝石片,蒸镀前对基片表面进行清洁处理。选取 150 °C、200 °C、250 °C 三个温度点进行实验。烘烤达到设定温度

**收稿日期:** 2013-10-08; **收到修改稿日期:** 2013-11-13

**基金项目:** 中国科学院上海技术物理研究所创新专项(Q-DX-24)、上海市自然科学基金青年项目(13ZR1463700)

**作者简介:** 罗海瀚(1984—),男,博士,助理研究员,主要从事薄膜光学与技术方面的研究。

E-mail: haihan.luo@mail.sitp.ac.cn

后,稳定两小时后再开始蒸镀。硅材料使用电子束蒸发蒸镀。蒸镀时的工作压力为  $4 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-4}$  Pa。样品取出后,立即放进放有干燥剂的密封保鲜盒中,并尽快进行光谱测量,尽量避免薄膜吸潮。

本实验非晶硅薄膜样品通过美国 Perkin-Elmer 公司生产的 Lambda 900 分光光度计测试薄膜光谱透射率,采用光度法,利用光学薄膜设计软件 Film Wizard 对薄膜的厚度  $d$  和折射率  $n$ 、消光系数  $k$  进行拟合。

### 3 结果与分析

图 1 是三个沉积温度下,非晶硅薄膜的透射率曲线。可以看出在不同沉积温度下,同样的晶振监控厚度,实际光学薄膜沉积在基片的厚度是不一样的。这是因为晶振通过水冷温度控制在  $20\text{ }^\circ\text{C}$  左右,而基片不同的沉积温度,薄膜沉积到基片的沉积效率不一样。晶振监控薄膜生长时,沉积温度的稳定对光学薄膜的制备十分重要。

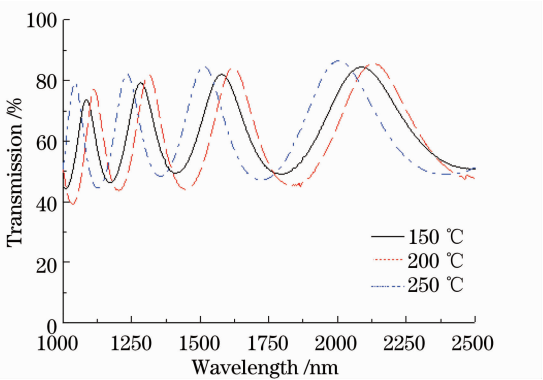


图 1 不同的沉积温度下硅薄膜透射率曲线

Fig. 1 Transmission curves of Si film in different deposited temperatures

通过光度法,可以拟合薄膜的光学厚度,物理厚度,折射率和消光系数。表 1 是中心波长选取为  $2000\text{ nm}$  时,样品拟合的各个参数。其中  $H$  为样品光学厚度的极值数, $d$  为薄膜样品的物理厚度, $n$  为折射率, $k$  为消光系数。

表 1 中心波长为  $2000\text{ nm}$  时的样品拟合参数

Table 1 Sample fitting parameters at central wavelength of  $2000\text{ nm}$

No.	Deposited temperatures / $^\circ\text{C}$	$H$	$d / \text{nm}$	$n$	$k$
1	150	6.26	1023	3.06	$3 \times 10^{-3}$
2	200	6.41	987	3.3	$1 \times 10^{-3}$
3	250	6.01	952	3.17	$5 \times 10^{-4}$

拟合结果显示,温度越高,薄膜沉积的厚度越薄。这是因为一般情况下,薄膜沉积速率随基底温度的升高而降低。当晶振监控薄膜生长时,晶振温度通过水冷控制稳定在  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ,所以沉积温度越高,相同的晶振监控条件下,薄膜的物理厚度应该更低。

由于非晶硅薄膜在  $200^\circ$  沉积时的折射率更大,所以其样品光学厚度更大。图 2 是通过光度法拟合的不同沉积温度下的非晶硅光学薄膜的折射率曲线。沉积温度为  $150\text{ }^\circ\text{C}$  时,硅薄膜的折射率最低。沉积温度升到  $200\text{ }^\circ\text{C}$  时,薄膜的折射率显著提高。而温度继续上升到  $250\text{ }^\circ\text{C}$  时,薄膜的折射率又下降。因此,可以判断在  $200\text{ }^\circ\text{C}$  附近,硅薄膜的折射率有个极值。并且,硅薄膜的折射率随温度变化比较大,制备对沉积温度的稳定性要求特别高。

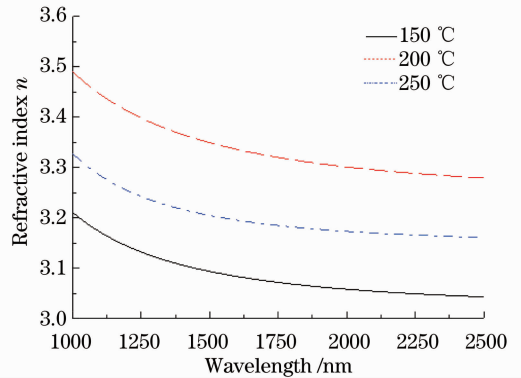


图 2 不同的沉积温度下硅薄膜折射率

Fig. 2 Refractive indexes of Si film in different deposited temperatures

图 3 是拟合的不同沉积温度下的非晶硅光学薄膜的消光系数曲线。硅薄膜样品沉积温度越高,消光系数越小,并且温度越高,消光系数的变化幅度越小。虽然硅的可见透射区间到  $1\text{ }\mu\text{m}$ ,但是,通过图 3 可知,在  $1500\text{ nm}$  以下,硅薄膜的消光系数明显

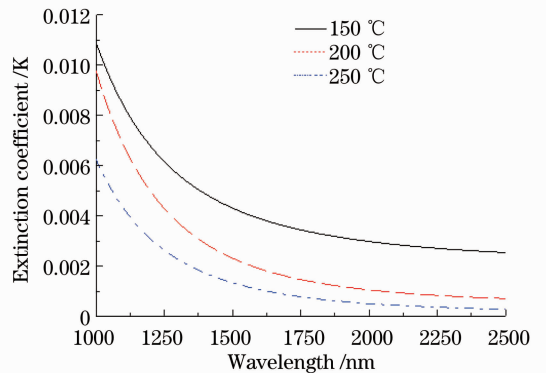


图 3 不同的沉积温度下硅薄膜消光系数

Fig. 3 Extinction coefficients of Si film in different deposited temperatures

提高,这使在 1500 nm 以下制备以硅为高折射率材料的光学薄膜滤光片增加了难度,并且透射率会有所限制。

根据图 2 和图 3 给出的硅样品的折射率和消光系数,镀制硅光学薄膜时,在 200 °C 时,硅薄膜折射率较高,消光系数较小,可以作为薄膜沉积温度。后期也可以在 200 °C 附近做更多的实验,找出折射率最大值的沉积温度。

一般来说,基板沉积温度越高,薄膜的聚集密度增大<sup>[5]</sup>,薄膜的折射率也会相应的有所提高<sup>[6-7]</sup>;而温度过高,可能形成大颗粒凝结,反而影响了薄膜的折射率。硅折射率随沉积温度变化比较大这个特点,在设计带通滤光片时,可以根据不同的带通选择合适的沉积温度来得到适合的硅材料折射率,以此来满足越来越高的光学薄膜性能要求。

## 4 结 论

硅薄膜在不同的沉积温度下,具有不同的折射率和消光系数。通过实验,选择 200 °C 作为镀制非晶硅光学薄膜的沉积温度比较合适。同时,也可以根据光学薄膜性能要求和设计需要,选择合适的沉积温度以得到合适的硅光学薄膜的折射率。

## 参 考 文 献

- 1 Fang Zheng, Wang Yongyu, Zhang Tianxu. Measurement of emissive spectral fingerprinting for material identity by the fourier transform infrared remote sensing technique [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(s2): 198-201.  
方正,王勇俞,张天序. 用傅里叶红外遥感发射光谱测量技术的物质辨识[J]. *光学学报*, 2009, 29(s2): 198-201.
- 2 Shu Xiongwen, Xu Chen, Tian Zengxia, *et al.*. Pross investigation of electron beam evaporation deposited amorphous silicon optical films [J]. *J Optoelectronics•Laser*, 2006, 17(8): 905-908.  
舒雄文,徐晨,田增霞,等. 电子束蒸发非晶硅光学薄膜工艺研究[J]. *光电子·激光*, 2006, 17(8): 905-908.
- 3 Haihan Luo, Dingquan Liu, Yin Xin. Influencing on the microstructure and surface morphology of Ge and Si thin films [C]. *SPIE*, 2012, 8416: 84160V.
- 4 Tang Jinfa, Gu Peifu, Liu Xu, *et al.*. *Modern Optical Thin Film Technology* [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2006. 403-411.  
唐晋发,顾培夫,刘旭,等. *现代光学薄膜技术*[M]. 杭州:浙江大学出版社, 2006. 403-411.
- 5 Gu Peifu. *Thin Film Technology* [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1990. 78.  
顾培夫. *薄膜技术*[M]. 杭州:浙江大学出版社, 1990. 78.
- 6 Luo Haihan, Liu Dingquan, Yin Xin, *et al.*. Title influence of deposited temperature on packing density of SiO thin films [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, 41(2): 170-172.  
罗海瀚,刘定权,尹欣,等. 沉积温度对一氧化硅薄膜聚集密度的影响[J]. *光子学报*, 2012, 41(2): 170-172.
- 7 Luo Haihan, Liu Dingquan, Yin Xin, *et al.*. Packing density of Germanium thin films at different deposited temperature [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2011, 38(12): 90-93.  
罗海瀚,刘定权,尹欣,等. 锗(Ge)光学薄膜在不同沉积温度下的聚集密度研究[J]. *光电工程*, 2011, 38(12): 90-93.

栏目编辑:张浩佳