

# 双光路同向起偏测量含金属阳极氧化铝膜的消光比<sup>\*</sup>

唐恒敬<sup>1</sup> 吴福全<sup>1,\*\*</sup> 魏玉花<sup>2</sup> 李清山<sup>2</sup>

(1 曲阜师范大学激光研究所, 曲阜 273165)

(2 曲阜师范大学物理系, 曲阜 273165)

**摘要** 用阳极氧化的方法制备了阳极氧化铝膜, 向其孔中分别镀入了铜和银, 利用 UV-3101 型分光光度计测试了其透射光谱和偏振光谱, 并研究了样品的偏振特性与入射角的关系. 实验结果表明, 这种含金属阳极氧化铝膜在近红外波段表现出良好的消光比, 且入射角的大小对其消光比有着明显的影响.

**关键词** 薄膜光学; 阳极氧化铝膜; 微偏振器; 消光比; 入射角

**中图分类号** O484.4+1; O436.3 **文献标识码** A

## 0 引言

近年来, 阳极氧化铝膜独特的有序结构, 引起了科技工作者的强烈兴趣. 通过在氧化铝膜的孔洞中组装不同金属和半导体的纳米丝, 可以制备高密度磁记录介质、功能电极、光学器件、电致变色和电致发光显示器件. 国内一些学者对纳米孔隙光学薄膜的透射率进行了数值计算<sup>[1]</sup>; 一些国外学者曾用电镀法向多孔阳极氧化铝的微孔中填入金属材料, 得到了相互平行的金属柱<sup>[2~4]</sup>. 这种注入金属柱的阳极氧化铝膜可以像金属线栅偏振器一样, 表现出一定的偏振性质<sup>[5]</sup>, 文献[6]和[7]对镀铜多孔阳极氧化铝膜的偏振特性进行了研究, 但文献[6]没有介绍测量方法; 文献[7]采用的是激光定点测量的方法, 这很难消除光源起伏对实验结果的影响, 而且作者仅仅是在有限的几个波长测试了样品的消光比. 本文用阳极氧化方法制备了阳极氧化铝膜, 并向孔中镀入金属铜和银, 然后利用双光路同向起偏法测定了其在可见和近红外波段的消光比, 并研究了其偏振特性与入射角的关系.

## 1 测试样品的制备

采用纯度为 99.999% 的铝片, 先是对其进行脱脂和电化学抛光, 然后置于浓度为 15% 的 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液电解液中进行阳极氧化. 阳极氧化结束后, 采用交流电镀的方法分别用硫酸铜和硝酸银溶液在孔的底部电镀铜柱和银柱, 随后将电镀后的样品放入沸水煮 30 min 进行封孔处理, 然后将氧化铝膜置于液溴和甲醇的混合液中浸泡, 腐蚀掉未氧化的铝片, 最后用去离子水反复淋洗, 以清除吸附在膜表面和

内部的电解液, 从而增强膜的化学稳定性.

为了测试方便, 利用溴代萘 (折射率为  $n=1.65$ ) 作为胶合剂将含铜氧化铝膜固定在两块玻璃棱镜之间, 如图 1, 玻璃棱镜入射光通过的两个截面以及两个斜面都进行了严格的光学抛光. 为了测试含铜阳极氧化铝膜的偏振特性与入射角的关系, 制备了结构角 ( $\theta_0$ ) 分别为 30°、45° 和 60° 的三块棱镜. 棱镜是由 LaK2 玻璃制作的, 其折射率为  $n_G=1.67$ .  $n_G$  在数值与阳极氧化铝膜的折射率 ( $n_1=1.6$ )<sup>[8]</sup> 相近, 这样可以尽量减少玻璃和氧化铝膜界面之间的光学损耗.

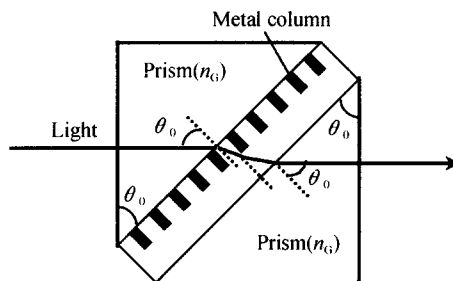


图 1 测试样品的结构图  
Fig. 1 The structure of the test sample

为了减少插入损耗, 光在样品中通过的路径要尽可能的短, 最好不要超过 10  $\mu\text{m}$ , 这样要使光从侧面正入射, 技术上很难实现这一点; 为了克服这种缺陷, 选择让光从正面斜入射 (图 1). 对于斜入射的光, 由于只有 P 分量的电矢量平行金属柱, 所以透过样品之后的光变成了部分偏振光; 这也是含金属柱氧化铝膜具有偏振性能的原因所在.

## 2 测试方法

在实验中, 采用了岛津 UV-3101 分光光度计, 选择的测试范围为 400~2500 nm. 该装置为双光路形式, 实验前, 通过双光路光强对比, 使双光路光强相同; 实验时只在样品光路中放入样品; 样品光路

<sup>\*</sup> 山东省自然科学基金(Y2002A09)资助

<sup>\*\*</sup> Tel: 0537-4458293 Email: fqwu@mail.qfnu.edu.cn

收稿日期: 2005-09-09

探测器与参考光路探测器数值的比值,就是实验中所得的数据,也就是光强的透射比. 进行连续波长扫描,就得到了样品的透射光谱曲线. 采用双光路形式,可以避免测量光强的绝对值,并能很好地避免因电源及其他部件工作不稳定而引起的误差.

在测量含金属阳极氧化铝膜偏振特性的过程中,采用了双光路同向起偏的方法,即:在分光光度计的双光路中均加入了同一类型的起偏镜,且使其透振方向一致,如图 2. 这样双光路中的出射光变为了同一方向的线偏振光. 在此基础上,进行基线扫描以及零点扫描,然后把待测样品放入测试光路,为了分别得到  $P$  分量和  $S$  分量的透射光谱曲线,在放

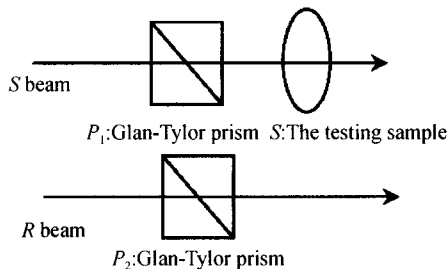


图 2 测试光路图  
Fig. 2 The testing beam path

入样品时,首先将样品放置方向如图 1, 然后进行连续波长的透射光谱扫描. 扫描结束之后,以入射光方向为轴将测试样品旋转  $90^\circ$ , 再次进行透射光谱的扫描,这样就可分别得到  $P$  分量和  $S$  分量的透射光谱曲线. 同时,采用双光路同向起偏的方法,可很好的消除分光光度计中探测器的偏振效应对测试结果的影响<sup>[9]</sup>. 将两次透射光谱的扫描结果代入消光比计算公式

$$\xi = 10 \times \log \frac{T_s}{T_p}$$

由此即可得到含铜阳极氧化铝膜的消光比,式中  $T_s$  和  $T_p$  别表示  $S$  分量和  $P$  分量的透射比.

### 3 实验结果与分析

实验过程中,由于始终是把含金属阳极氧化铝膜利用溴代萘胶合在两个 LaK2 玻璃直角棱镜之间进行测试,因此,首先需要测试 LaK2 玻璃棱镜透射光谱,测试曲线如图 3. 由图中曲线可以看出,LaK2 玻璃在所测波段具有较高的透射;波长 400 nm 时,透射比就已高达 70%;而当波长达到 2200 nm 时,其透射比仍不低于 70%. 由这一点可以进一步看出选择 LaK2 玻璃的合理性.

含金属阳极氧化铝膜的透射光谱曲线如图 4, 其中(a)图为含铜阳极氧化铝膜的透射光谱曲线, (b)图为含银阳极氧化铝膜的透射光谱曲线. 由图

中曲线可知,含铜阳极氧化铝膜在 560 nm 附近有一明显的吸收峰,而在近红外有良好的透射,透射比均在 80% 以上;而含银阳极氧化铝膜的透射比较低,在近红外波段其透射比不到 50%.

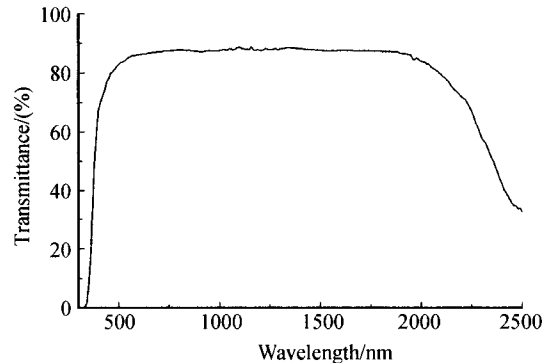


图 3 LaK2 玻璃的透射光谱曲线  
Fig. 3 The transmitted spectrum curve of LaK2

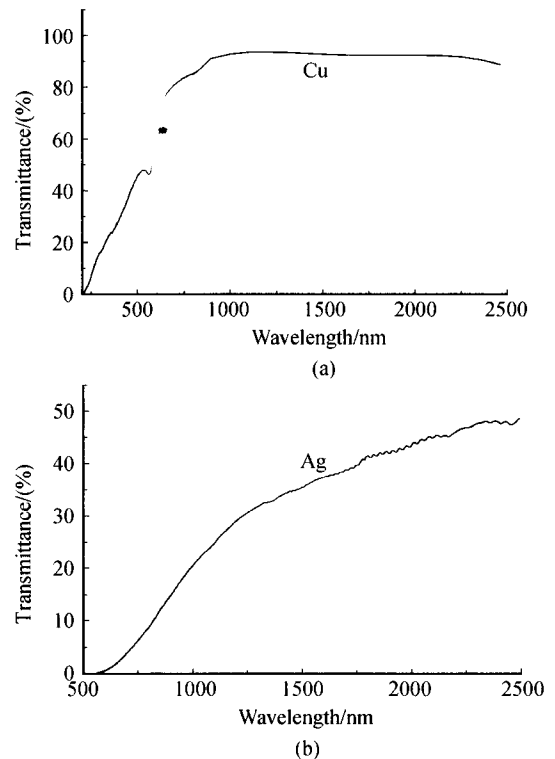


图 4 含金属氧化铝膜的透射光谱曲线  
Fig. 4 The transmitted spectrum of anodic alumina with metal

样品的偏振光谱曲线如图 5, 其中图(a)为含铜阳极氧化铝膜的偏振光谱,图(b)为含银阳极氧化铝膜的偏振光谱. 在图(a)中,曲线 A、B、C 分别为棱镜结构角为  $30^\circ$ 、 $45^\circ$  和  $60^\circ$  时,  $S$  分量的透射比曲线;曲线 D、E、F 分别为棱镜结构角为  $30^\circ$ 、 $45^\circ$  和  $60^\circ$  时,  $P$  分量的透射比曲线. 由于含银阳极氧化铝膜的透射比较低,所以只测试了棱镜结构角为  $45^\circ$  时含银阳极氧化铝膜的偏振光谱曲线,其中  $H$  为  $S$  分量的透射比曲线,  $I$  为  $P$  分量的透射比曲线.

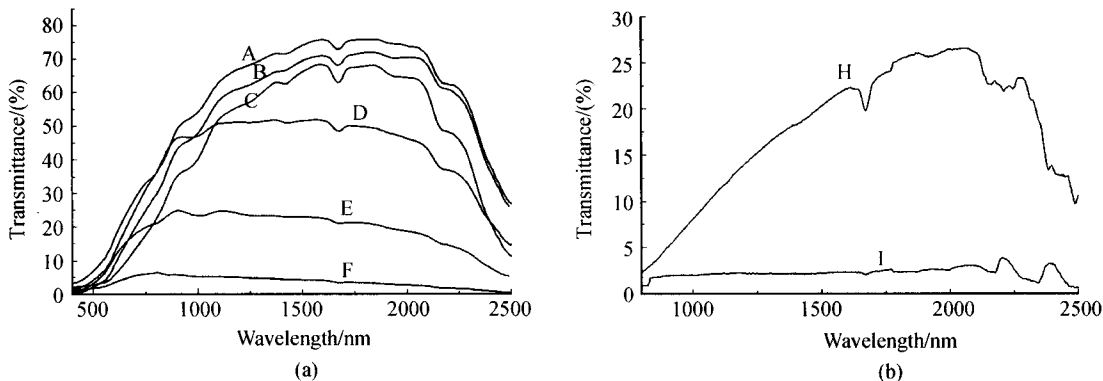


图5 含金属氧化铝膜的偏振光谱曲线

Fig. 5 The polarized spectrum of anodic alumina with metal

由图中曲线可以看出:①含金属阳极氧化铝膜在近红外波段表现出良好的偏振特性,而在可见光波段偏振特性不明显.参照线栅偏振器的起偏原理,作者认为这可能是由于,相对于短波长的光而言,样品中金属柱之间的间隔较大所致<sup>[10]</sup>.②对于含铜阳极氧化铝膜,随着入射角的增加, $P$ 分量和 $S$ 分量的透射比均逐渐减小, $P$ 分量减小的幅度明显大于 $S$ 分量,这是因为 $P$ 分量和 $S$ 分量损耗的机理不同: $S$ 分量的损耗主要源于界面处的反射损耗; $P$ 分量的损耗主要是由于样品的吸收.所以当入射

角增大时, $S$ 分量变化不大,而 $P$ 分量中平行于金属柱的电场分量增多,损耗增大,透射急剧下降.③曲线在1670 nm附近的波动是由于胶合剂溴代萘的吸收所致,由于 $P$ 分量和 $S$ 分量在此处均有波动,所以这并不影响样品的消光比.

样品的消光比光谱曲线由图6给出.由图中曲线可以更明显的看出含铜阳极氧化铝膜的消光比随入射角和波长的变化关系及含银阳极氧化铝膜的消光比随波长的变化关系.

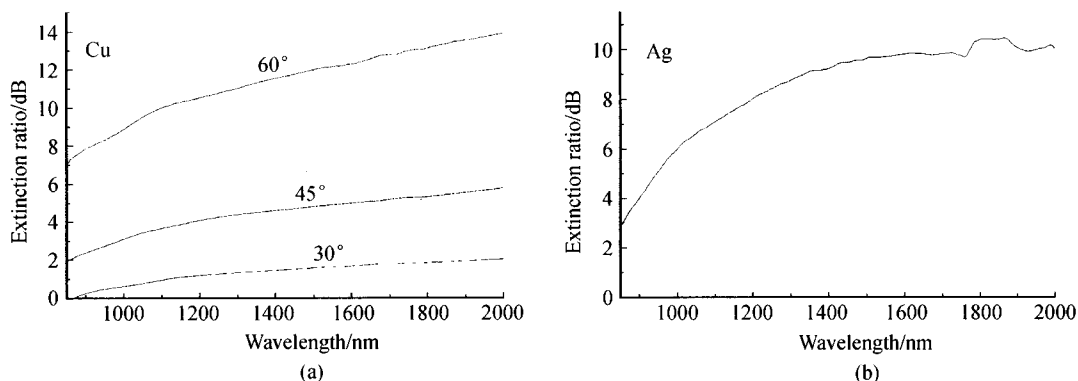


图6 含金属氧化铝膜的消光比曲线

Fig. 6 The extinction ratio spectrum of anodic alumina with metal

## 4 结论

用双光路同向起偏的方法测试含金属阳极氧化铝膜的消光比,可以消除光探测器的偏振效应对测试结果的影响;测试结果表明:含铜阳极氧化铝膜,其在近红外波段具有良好的透射率和消光比,且消光比随着入射角的增大而显著提高;含银阳极氧化铝膜,其在近红外波段的透射比不到50%,但其在近红外有着良好的消光比.综合考虑样品的消光比及透射比,作者认为含铜阳极氧化铝膜应当更适用于制作微偏振器.

### 参考文献

1 杨振宇,朱大庆,杨茗,等.纳米孔隙聚合物光学薄膜透过

率谱线的数值计算.光子学报,2005,34(4):582~584

Yang Z Y, Zhu D Q, Yang M, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2005, 34(4): 582~584

- 2 Kuniyoshi Takano, Mitsunori Saito, Mitsunoby Miyagi. Cube polarizers by the use of metal particles in anodic alumina films. *Appl Opt*, 1994, 33(16): 3507~3512
- 3 Mitsunori Saito, Mitsunori Miyagi. Anisotropic optical loss and birefringence of anodized alumina film. *J Opt Soc Am A*, 1989, 6: 1890~1895
- 4 Mitsunori Saito, Mitsunobu Miyagi. Micropolarizer using anodized alumina with implanted metallic columns: theoretical analysis. *Appl Opt*, 1989, 28(15): 3529~3533
- 5 Saito M, Kirihara M, Taniguchi T, et al. Micropolarizer

- made of the anodized alumina film. *Appl Phys Lett*, 1989, **55**(7):607~609
- 6 董艳锋, 李清山, 吴福全, 等. 多孔铝膜的偏振特性研究. *光电子·激光*, 2002, **13**(11):1113~1115  
Dong Y F, Li Q S, Wu F Q, et al. *J of Optoelectronics · Laser*, 2002, **13**(11):1113~1115
- 7 董艳锋, 李清山, 吴福全, 等. 含纳米金属阵列阳极氧化铝膜的偏振特性. *光学学报*, 2004, **24**(2):247~250  
Dong Y F, Li Q S, Wu F Q, et al. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(2):247~250
- 8 Lang M L, Woife W L. Optical constants of fused silica and sapphire from 0.3 to 25  $\mu\text{m}$ . *Appl Opt*, 1983, **22**:1267~1268
- 9 李继仲, 李国华, 肖胜安, 等. 分光光度计的偏振响应测定及其应用. *光谱学与光谱分析*, 1994, **14**(5):121~126  
Li J Z, Li G H, Xiao S A, et al. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 1994, **14**(5):121~126
- 10 李景镇. 光学手册. 西安: 陕西科学技术出版社, 1986. 538~541  
Li J Z. *Handbook of Optics*. Xi'an: Press of Shaanxi Science Technology, 1986. 538~541

## Measurement of Extinction Ratio of Anodic Alumina with Metallic Columns by Dual-path Equidirectional Polarization Method

Tang Hengjing<sup>1</sup>, Wu Fuquan<sup>1</sup>, Wei Yuhua<sup>2</sup>, Li Qingshan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laser Institute, Qufu Normal University, Qufu 273165

<sup>2</sup> Department of Physics, Qufu Normal University, Qufu 273165

Received date: 2005-09-09

**Abstract** Cu and Ag were implanted into the pores of anodic alumina by means of electroplating. Its transmitted and polarized spectra was measured using UV-3101 spectral photometer, and the relationship of polarization property and incident angle was also studied. The experimental result indicated that such anodic alumina with metallic columns had good polarization property in the near-infrared waveband, and the incident angle had obviously effect on its polarization property.

**Keywords** Film optics; Anodic alumina film; Micropolarizer; Extinction ratio; Incident angle



**Tang Hengjing** was born in 1981, Yuncheng county, Shandong province. He received his bachelor degree in the Department of physics from Liaocheng University in 2003. He is carrying out his master degree research on polarization technology in Laser Institute of Qufu Normal University.