

# Cu-氧化铝纳米阵列近红外偏振特性的入射角度效应

唐恒敬<sup>1)</sup> 吴福全<sup>1)</sup> 魏玉花<sup>2)</sup> 李清山<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup> 曲阜师范大学激光研究所, 山东曲阜, 273165)

(<sup>2)</sup> 曲阜师范大学物理系, 山东曲阜, 273165)

**摘要** 用阳极氧化方法制备了阳极氧化铝膜, 向其孔中镀入了铜, 然后利用 UV-3101PC 型分光光度计对其进行了透射光谱测试, 并在入射角分别为 30°、45° 和 60° 时测试了其偏振光谱。实验结果表明, 这种含铜阳极氧化铝膜在近红外波段具有良好的透射率和消光比, 且消光比会随着入射角的增大而显著提高。

**关键词** 薄膜光学 阳极氧化铝膜 偏振器 电镀

## Incident Angle Effect of Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanochannel Array's Polarizing Property in Near Infrared Waveband

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)

**Abstract:** Cu was implanted into the pores of anodic alumina by means of electroplating. We measured its transmitted spectrum by using a UV-3101 spectral photometer, and tested its polarizing spectrum at the incident angles of 30°, 45° and 60° respectively. The experimental result has indicated that such an anodic alumina film with Cu columns has good transmittance and extinction ratio in the near infrared waveband, and the extinction ratio can be improved notably with the increase of the incident angle.

**Key words:** film optics, anodic alumina film, polarizer, electroplating

### 1 引言

偏振器件是重要的光学器件之一。目前已有的各种各样的偏振元件(如格兰棱镜、尼科耳棱镜、二向色薄膜、金属线栅、干涉薄膜等)已广泛应用于光隔离器、光调整器、光转换开关等。但是它们都具有体积大、效率低、造价高等缺点。

光电通信的发展迫切需要一些体积小、重量轻且效率高的微偏振元件, 因此研究开发一些新型的微偏振器件是非常必要的。一些国外学者对此进行了有益的探索: 用电镀法向多孔铝的微孔中填入金属材料可得到相互平行的金属柱<sup>[1-3]</sup>。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>[4]</sup>,

收稿日期: 2005-03-22

作者简介: 唐恒敬(1981—), 男, 山东郓城人, 硕士研究生, 主要从事偏光技术及光谱分析方面的研究工作。

有可能获得较大的消光比,并具有体积小、重量轻等优点。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,实验表明,含铜阳极氧化铝膜确实像线栅偏振器一样表现出偏振特性,这种氧化铝膜在近红外波段具有良好的透射率和消光比。

## 2 测试样品的制备

采用纯度为 99.999% 的铝片,先对其进行脱脂和电化学抛光,然后将其置于浓度为 15% 的  $H_2SO_4$  溶液电解液中进行阳极氧化。实验采用的电解槽是由曲阜师范大学物理电子学专业自行设计的一种电解槽。实验所用电压由 DH1722-4 型直流稳压电源提供。

阳极氧化结束后,用硫酸铜溶液在孔的底部电镀铜柱,随后将电镀后的样品放入沸水中煮 30min 进行封孔处理,然后再将氧化铝膜置于液溴和甲醇的混合液中浸泡,以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,我们利用溴代萘(折射率  $n = 1.65$ ) 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 所示,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 ( $\theta_0$ ) 的关系,我们制备了结构角 ( $\theta_0$ ) 分别为  $30^\circ$ 、 $45^\circ$  和  $60^\circ$  的三块棱镜。所选择的棱镜是由折射率  $n_G = 1.67$  的 LaK2 玻璃制作的,之所以选择 LaK2 玻璃,主要是因为光波衰减系数 ( $k$ ) 的各向异性性能随着玻璃棱镜折射率  $n_G$  的增大而增大。但是,如果玻璃折射率  $n_G$  太大, S 分量的衰减将会随之增大(这主要是由于玻璃和氧化铝膜界面处的菲涅尔反射造成的),这样就会使样品的偏振性能降低。因此,  $n_G$  在数值上必须与阳极氧化铝膜的折射率 ( $n_1 = 1.6$ )<sup>[5,6]</sup> 相近,约为  $1.6 \sim 1.7$ ,以尽量减少玻璃和氧化铝膜界面之间的光学损耗。

为了减少插入损耗,光在多孔铝样品中通过的路径要尽可能地短,最好不要超过  $10\mu m$ 。

在这种情况下,要使光从侧面正入射,技术难度很大;为了克服这种缺陷,我们选择让光从正面斜入射(见图 1)。对于斜入射的光,由于只有 P 分量的电矢量平行于金属柱,所以透射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。

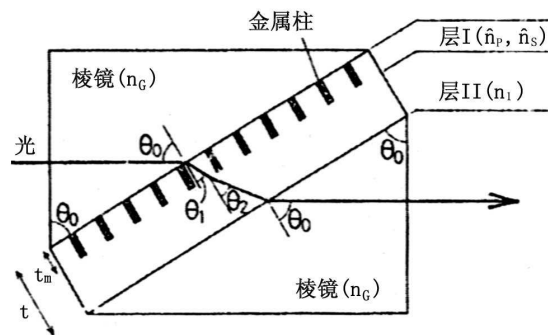


图 1 测试样品的结构

## 3 测试方法

实验用的测试仪器是岛津 UV-3101PC 型分光光度计,我们选择的测试范围为  $400nm \sim 2500nm$ 。实用的偏振器件,不仅消光比要大,而且透射率也要好。我们首先进行含铜阳极氧化铝膜透射光谱的测量,然后测量其偏振特性。在测量含铜阳极氧化铝膜偏振特性的过程中,我们在分光光度计的双光路中均加入了同一类型的起偏镜,且使其偏振方向一致,目的是为了使双光路中的出射光变为同一方向的线偏振光。在此基础上,我们把已做好的测试样品放入测试光路。这里需要注意的是,放入样品时,我们要求样品放置方向首先如图 1 所示,然后即可进行连续波长的透射光谱扫描。扫描结束之后,我们让测试样品翻转  $90^\circ$ ,再次对其进行透射光谱的扫描,这样我们就可分别得到 P 分量和 S 分量的透射光谱曲线。将两次透射光谱的扫描结果代入消光比计算公式

$$\xi = 10 \times \log \frac{T_S}{T_P}$$

式中,  $T_S$  和  $T_P$  分别表示 S 分量和 P 分量的透射率。由此即可得到含铜阳极氧化铝膜的消光比。

## 4 实验结果与分析

实验过程中, 由于我们始终是在用溴代萘把含铜阳极氧化铝膜固定在 LaK2 玻璃的两个斜面上后进行测试的, 因此, 我们首先需要测试出 LaK2 玻璃在岛津 UV-3101PC 型分光光度计 (200nm ~ 2800nm) 上的透射光谱, 测试曲线如图 2 所示。由图中曲线我们可以看出, LaK2 玻璃在所测波段具有较高的透射率; 波长为 400nm 时, 透射率就已高达 70%; 而当波长达到 2200nm 时, 其透射率仍不低于 80%。由这一点可以进一步看出我们选择 LaK2 玻璃的合理性。

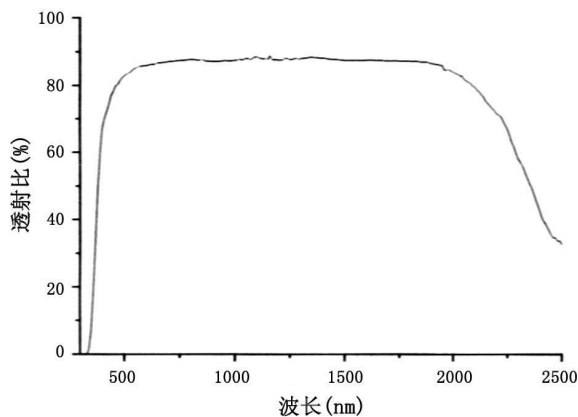


图 2 LaK2 的透射光谱曲线

含铜阳极氧化铝膜的透射光谱曲线如图 3 所示, 由图中曲线可知, 含铜阳极氧化铝膜在 560nm 附近有一明显的吸收峰, 而在近红外区域有良好的透射, 透射率均在 80% 以上。

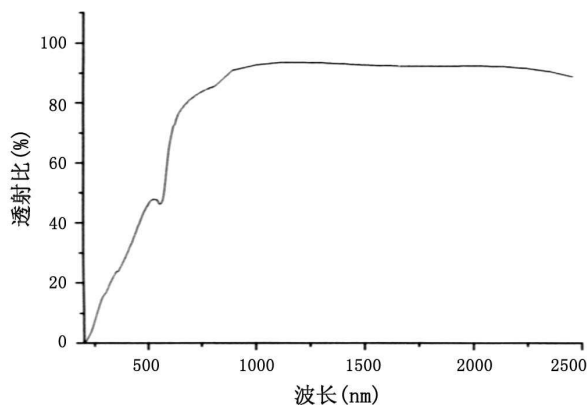


图 3 含铜阳极氧化铝膜的透射光谱曲线

样品的偏振光谱曲线如图 4 所示。曲线 A、B、C 分别为入射角为 30°、45° 和 60° 时 S 分

量的透射比; 曲线 D、E、F 分别为入射角为 30°、45° 和 60° 时 P 分量的透射比。由图中曲线我们可以看出, ①样品在近红外波段表现出了良好的偏振特性, 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, 我们认为这可能是由于样品中金属柱之间的间隔相对于短波长的光而言较大所致<sup>[7]</sup>。②随着入射角的增加, P 分量和 S 分量的透射比均逐渐减小, 但 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样品的吸收所造成的。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, 透射率急剧下降。③曲线在 1670nm 附近的波动可能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。

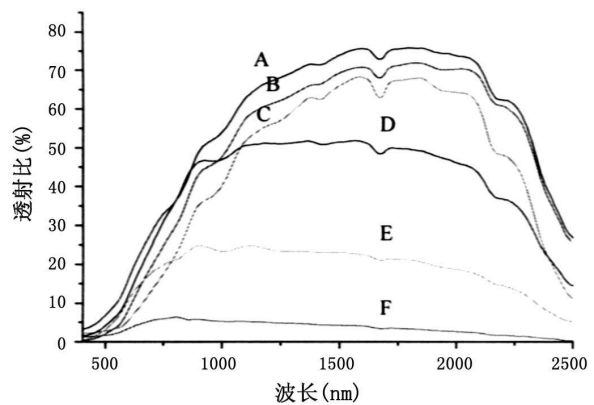


图 4 含铜阳极氧化铝膜的偏振光谱曲线

为了更清楚地看出样品的消光比随入射角和波长的变化关系, 对于光纤通信和大气探测常用的几个波长<sup>[8]</sup>, 我们给出了当入射角分别为 30°、45° 和 60° 时样品的透射率和消光比 (表 1 和表 2)。

由表 1 和表 2 我们可以更明显地看出, 含铜阳极氧化铝膜在 1000nm、1200nm、1300nm、1550nm 和 2000nm 处有非常好的透射, 而且样品的消光比会随入射角的增加而明显增大。当入射角为 30° 时, 样品在以上几个波长处的消光比分别为 0.6dB、1.2dB、1.3dB、1.6dB 和 2.0dB, 而

在入射角为  $60^\circ$  时, 样品在以上几个波长处的消光比分别达到了 8.9dB、10.5dB、11dB、12.1dB 和 12.9dB。

表 1

$\lambda(\text{nm})$	透射率
1000	92.85%
1200	93.63%
1300	93.53%
1550	91.96%
2000	94.23%

表 2

	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$
1000	0.6	3.1	8.9
1200	1.2	4.1	10.5
1300	1.3	4.4	11.0
1550	1.6	4.9	12.1
2000	2.0	5.8	12.9

## 5 结论

本文通过用电镀的方法向阳极氧化铝膜中填入金属, 形成了纳米金属列阵。实验结果表明, 这种含铜阳极氧化铝膜在近红外波段不但有较大的消光比, 而且有良好的透射率, 其消光比会随着入射角的增大而显著提高。这种含铜

阳极氧化铝膜偏振器制作简单, 体积小, 在光电集成领域有着非常广泛的应用前景。

## 参考文献

- [1] Kuniyoshi Takano, Mitsunori Saito, Mitsunoby Miyagi. Cube polarizers by the use of metal particles in anodic alumina films[J]. Appl. Opt., 1994, 33(16): 3507-3512.
- [2] Mitsunori Saito, Mitsunori Miyagi. Anisotropic optical loss and birefringence of anodized alumina film[J]. J. Opt. Soc. Am. A, 1989, 6: 1890-1895.
- [3] Mitsunori Saito, Mitsunobu Miyagi. Micropolarizer using anodized alumina with implanted metallic columns: theoretical analysis[J]. Appl. Opt., 1989, 28(15): 3529-3533.
- [4] M. Saito, M. Kirihara, T. Taniguchi, M. Miyagi. Micropolarizer made of the anodized alumina film[J]. Appl. Phys. Lett., 1989, 55(7): 607-609.
- [5] M L Lang, W L Woife. Optical Constants of Fused Silica and Sapphire from 0.3 to  $25\mu\text{m}$  [J]. Appl. Opt., 1983, 22: 1267-1268.
- [6] G Hass. On the Preparation of Hard Oxide Films with Precisely Controlled Thickness on Evaporated Aluminum Mirrors[J]. J. Opt. Soc. Am., 1949, 39: 532-540.
- [7] 李景镇. 光学手册 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1986, 538-541.
- [8] 蓝信钜. 激光技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2000, 282-283, 303-304.

## 国外专利介绍

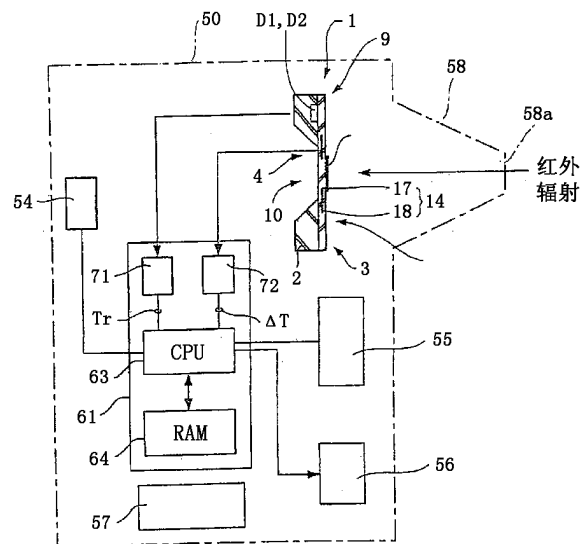
### 用于测量温度的红外探测元件

美国专利 US6909093

(2005 年 6 月 21 日授权)

本发明提供一种能够精确测量温度的低成本热电堆红外探测元件。该红外探测元件 (1) 采用一种氮化硅膜作为第一结构层 (22)。与氧化硅不一样, 第一结构层 (22) 在拉伸方向具有内部应力, 因此它可以防止弯曲现象的发生。另外, 通过用第一结构层作为元件隔离区, 还可以将二极管 D1 和 D2 做在硅衬底 (2) 内, 从而防止热电堆 (12) 因环境变化而发生变形。

本专利说明书共 36 页, 其中有 23 张插图。



高编译