

# 圆 盘 形 红 外 渐 变 滤 光 片

邢 作 清

(中国科学院长春光学精密机械研究所)

**摘要**——利用自行设计的一种单扇形、两转速的传动机构，采用激光蒸发技术，制备了波长为  $1.1\sim 2.4\ \mu\text{m}$ ，直径为  $150\ \text{mm}$  的圆盘形红外渐变滤光片。介绍了制备机构的工作原理及使用这种机构制备渐变滤光片的方法。最后分析了渐变滤光片的一些特性。

## 一、前 言

圆盘形渐变滤光片就是滤光片的主透射带随角向量成线性变化的一种窄带干涉滤光片。它是继棱镜和光栅之后新发展起来的，用真空镀膜方法实现的一种具有中等分辨率的分光元件，具有体积小、重量轻及安装方便等优点。这种分光元件在空间光谱技术及波长扫描技术中特别有用。

目前国内已开展并报道了  $0.4\sim 1.1\ \mu\text{m}$ 、 $1.1\sim 2.6\ \mu\text{m}$  和  $8\sim 14\ \mu\text{m}$  波长范围内的圆形渐变滤光片的研制工作<sup>[1~2]</sup>；均采用 Thelen<sup>[3]</sup> 的制备机构。本文采用一种单扇形，两转速的传动机构(见图 1)与文献[3]所发表的机构相比大为简化。

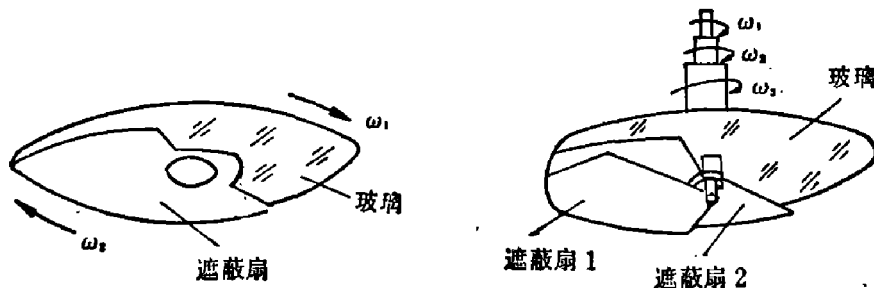


图 1 制备机构示意图

(a) 本文的设计 (b) 文献[3]的设计

Fig. 1 Schematic diagram of the mechanism for making filters.

(a) Put forward by the authors. (b) from reference [3].

## 二、机构工作原理

本文所描述的制备渐变滤光片的机构，非常类似于通常所使用的真空镀膜室内的转动机构。只是在基底齿轮盘下多了一个带动遮蔽扇转动的齿轮盘。并且在旁侧安装了几个小齿轮和一个爪形轮传动系统。遮蔽扇的动作情况，完全受基底齿轮盘的严格控制。

图2为本机构工作原理图。图中 $ABCD$ 为要镀膜的半圆形玻璃基底，而画有剖面线的为半圆形的遮蔽扇。蒸发分子的运动方向假定为垂直于纸面，由里向外。工作的起始位置可由机械系统准确地定为图2(a)的相对位置。当转动开始时，遮蔽扇盘的齿轮与带动它的主传动轮是相脱开的，所以它处于静止状态。而基底盘齿轮则以 $\omega_1$ 的速度从 $A$ 端开始渐渐地进入遮蔽扇内。很明显，由于基底表面先后进入扇内，表面各部分在蒸汽分子中所暴露的时间长短就不一样。这样就在基底上镀上了一层厚度逐渐变化的膜层，如图2(b)、(c)、(d)所示。

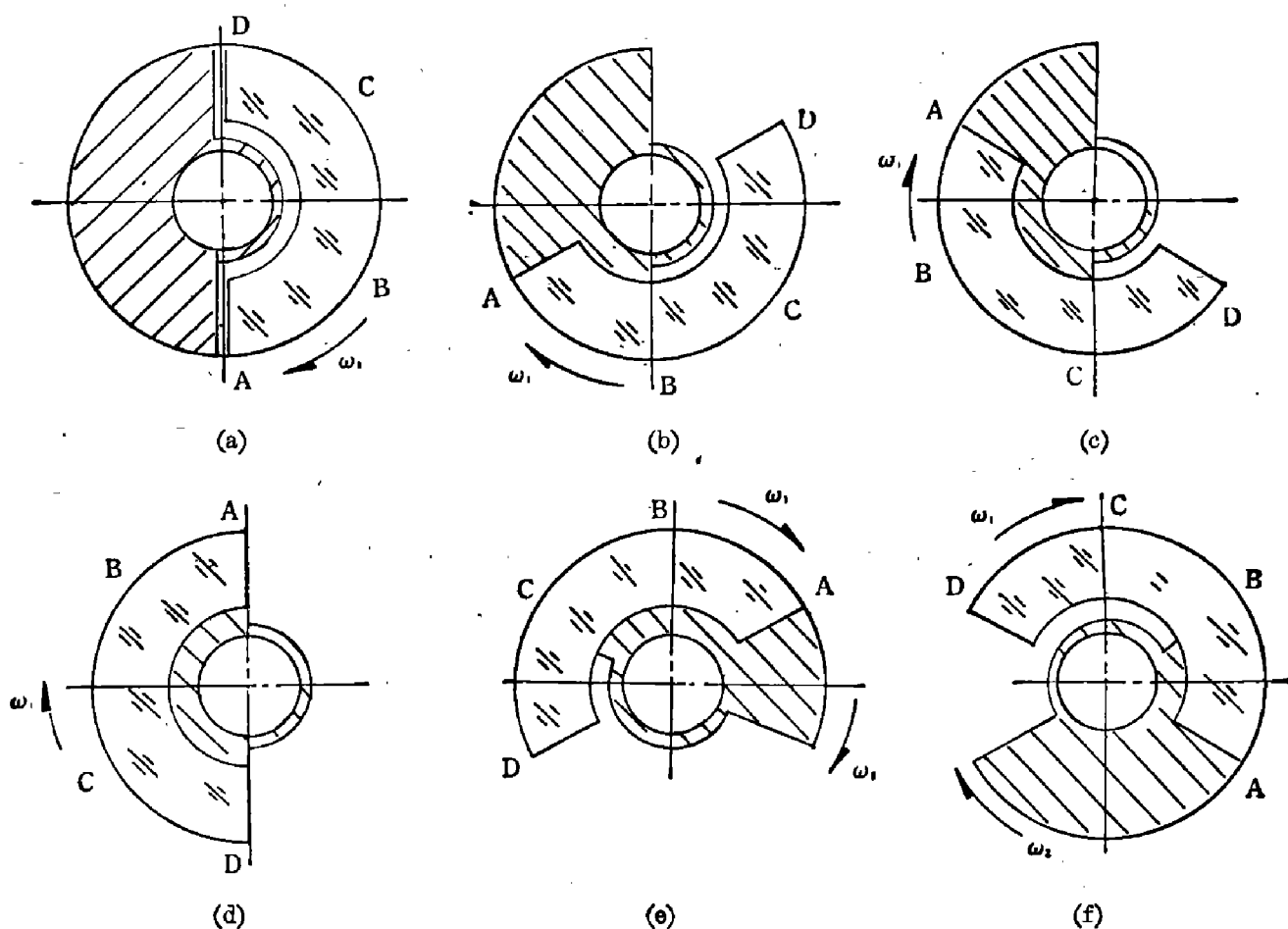


图2 机构工作原理图

Fig. 2 Diagrams showig the operational principle of the mechanism.

由于基底是在匀速不停地连续转动着，当它转到和遮蔽扇正好重合的位置时（见图2(d)），基底盘的齿轮便会立即开始拨动并带动遮蔽扇齿轮盘转动的主齿轮，从而使遮蔽扇开始以 $\omega_2 = 2\omega_1$ 的速度与基底同时同向转动。显然，遮蔽扇是在作超前于基底的运动。于是，依次出现了图2(e)、(f)、(a)的情况。

由于 $D$ 、 $C$ 、 $B$ 和 $A$ 四点先后依次被暴露出来的，故薄膜的光学厚度变化为

$$nd_A < nd_B < nd_C < nd_D$$

上述两个半周期内,薄膜光学厚度都是由  $A$  端向  $D$  端渐增的。因此,基底转动一周,两次形成渐变层。基底不停地转动下去,这种渐变层的形成方式也不断地重复下去,直至达到要求的厚度为止。

应当指出,上述所形成的渐变层,是从零值开始渐增到某一厚度值的。而在实际应用中,需要从某一给定值起始且具有一定厚度比值的渐变滤光片。为实现这一目的,可以通过镀均匀层的方法来完成。即根据渐变滤光片的厚度比  $nd_{\max}/nd_{\min}$ ,先在基片上镀上一层光学厚度等于  $nd_{\min}$  的均匀层,然后接着再镀上同一材料的光学厚度为  $(nd_{\max} - nd_{\min})$  变层。镀均匀层时,应拨动开关,使转动机构反的渐转。此时,基底和遮蔽扇便自动成图 2(a) 所示的相对固定位置,并且两者同时以相同速度和相同方向作匀速转动。

图 3 所示,要镀制一块  $1 \sim 1.8 \mu\text{m}$  波段的渐变滤光片,按照上述原理,先镀一层光学厚等于  $\lambda_0/4$  ( $\lambda_0 = 1 \mu\text{m}$ ) 的均匀层,接着反转机构,再镀上同一材料的、光学厚度等于  $\lambda'_0/4$  ( $\lambda'_0 = 1.8 \sim 1 \mu\text{m}$ ) 的渐变层。这样,一个膜系中的所有  $H$  和  $L$  层便可用这种方法来完成。

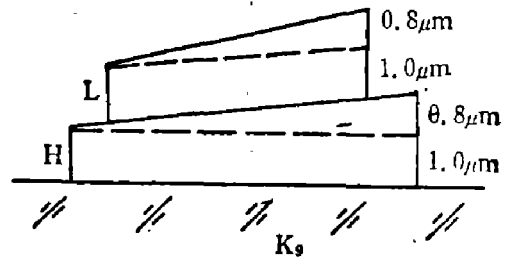


图 3 渐变层形成方法

Fig. 3 The method of forming variable layers.

单扇形两转速机构和两扇形三转速机构相比,具有下列优点:

- (1) 单扇形机构设计中避免了复杂的数学运算;
- (2) 传动系统简单
- (3) 不必改变机构和扇的形状,即可镀制任意厚度比值的渐变滤光片
- (4) 耗费的膜料比两扇形机构少得多;
- (5) 可同时用来镀制均匀滤光片。

但是,当用单扇形机构镀制厚度比为非整数倍的渐变滤光片时,需要不断地调整控制波长,这是比较麻烦的。

### 三、制备工艺

圆盘渐变滤光片分两个波段 ( $1.1 \sim 1.9 \mu\text{m}$  和  $1.9 \sim 2.4 \mu\text{m}$ ), 分别镀在两个半圆形玻璃基底上,然后组合成一个圆盘。

#### 1. $1.1 \sim 1.9 \mu\text{m}$ 波段渐变滤光片

主滤光片采用膜系为:

$$\text{GHLH2L'HLHA};$$

其中,  $G$  为  $K_9$  玻璃;  $H$  为  $\text{GaAs}$ ;  $L$  为  $\text{SrF}_2$ ;  $L'$  为  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ 。

副滤光片根据截次峰和工艺上方便的需要,我们选用了三个副膜系,即

$$\text{膜系 1: G2HL2HL2HA};$$

$$\text{膜系 2: } [0.5\text{HL}0.5\text{H}]^2;$$

其中,  $H$  为  $\text{GaAs}$ ;  $L$  为  $\text{SrF}_2$ 。

$$\text{膜系 3: } [0.5\text{LH}0.5\text{L}]^2;$$

其中, H 为  $Sb_2S_3$ ; L 为  $SrF_2$ 。

膜系 1 主要是用于消除主滤光片的  $1.5 \mu m$  以前的各主透射带的前次峰和  $1.5 \mu m$  以后的各主透射带的后次峰。它的控制波长与主滤光片的控制波长相同。膜系 2 和 3 则用于截除其余未消除次峰。完成后的滤光片光谱曲线如图 4 所示。

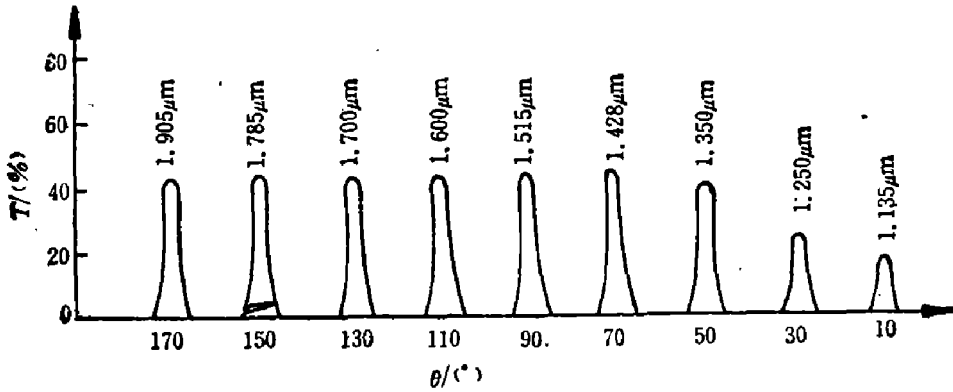


图 4 1.1~1.9  $\mu m$  波段渐变滤光片光谱曲线

Fig. 4 The spectral curve of the variable filter for 1.1~1.9  $\mu m$ .

## 2. 1.9~2.4 $\mu m$ 波段渐变滤光片

主滤光片采用的膜系为

GHLH2LHLHA;

其中, H 为 GaAs; L 为  $SrF_2$ 。

副滤光片选用一种  $1.85 \mu m$  前截止的红外截止玻璃, 这种玻璃在短波方向有一小的透

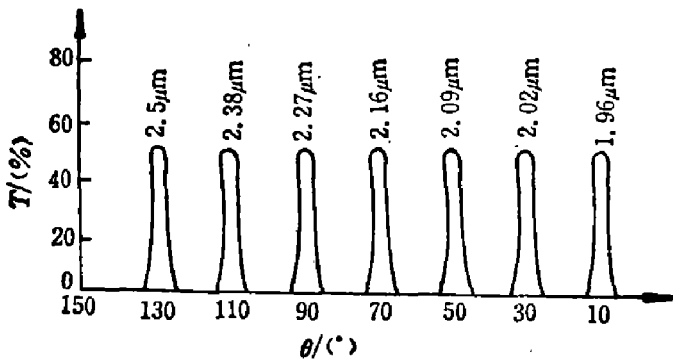


图 5 1.9~2.4  $\mu m$  波段渐变滤光片光谱曲线

Fig. 5 The spectral curve of the variable filter for 1.9~2.4  $\mu m$ .

过次峰, 所以, 为了达到好的截除效果, 在玻璃表面上镀了截止膜系。在这一波段范围内, 滤光片各主透射带的前次峰均出现在  $1.85 \mu m$  以前, 所以用镀了膜的红外截止玻璃足以消除前次峰。滤光片的后次峰均移入玻璃吸收区内, 不必考虑截除后次峰。

叠加后, 完整的  $1.9 \sim 2.4 \mu m$  渐变滤光片的光谱曲线如图 5 所示。

滤光片采用一种可靠的封边技术把主副滤光片胶合在一起。主副滤光片叠

合时, 各片之间应保持适当间隙以防止产生新的干涉。

滤光片的镀层材料是根据其结合牢固性, 并有利于消除次峰等要求来选择的。其中, GaAs 主要用于吸收  $1 \mu m$  前的次峰; 但它的吸收却严重地影响了  $1.1 \mu m$  附近的主峰透过率。在使用的三种蒸发材料中, 对砷化镓和氟化铟我们采用了激光蒸发技术<sup>[4]</sup>。

## 四、特性分析

### 1. 线性

要得到较好的线性, 应当满足下列条件:

(1) 蒸发速率尽量保持恒定; (2) 基底转速适当快, 而蒸发速度要适当慢; (3) 膜料在使用波段范围内色散应小; (4) 蒸发源发射特性对转动基底应是均匀的。图 6 为两个样品实验的线性曲线。其中一个样品是人为地改变蒸发速度快慢, 造成坏的线性结果。

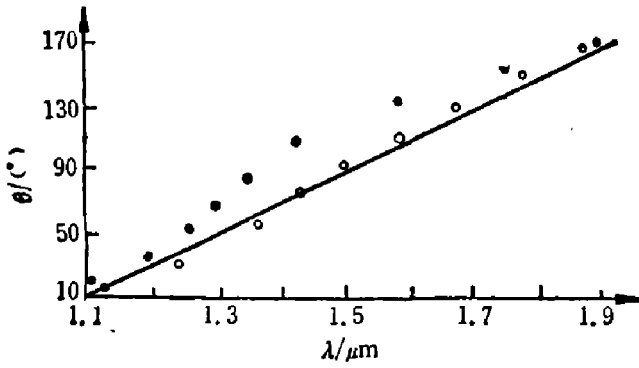


图 6 渐变滤光片线性实验曲线

—标准线性 ○——中间层蒸发速率均匀  
●——中间层蒸发速率不均匀

Fig. 6 The experimental linearity curve of the variable filter

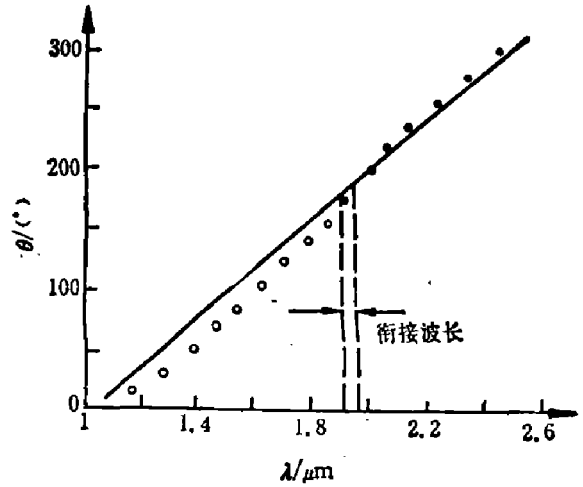


图 7 两块渐变滤光片衔接线性图

—标准线性 ●——1.1~1.9 μm 渐变滤光片  
○——1.9~2.4 μm 渐变滤光片

Fig. 7 Linking-up linearity of two variable filters.

需要指出的是, 一个圆盘形波长渐变滤光片, 往往是由两块或更多块小波段的滤光片组合而成。这就要求各块滤光片之间在线性上尽可能接近, 这将会给使用者带来方便。图 7 为两块样品的衔接线性图。从图中可以看出, 两块样品的线性变化是很接近的。

## 2. 半宽度

渐变滤光片的半宽度在测试或使用上与入射在滤光片表面上的光斑尺寸及滤光片的波长密度有关, 这是因为对渐变滤光片来说, 暴露在入射光斑中的透过波长不是单一波长, 而可能是一个小的光谱波段。这个波段的宽窄决定了光斑尺寸和滤光片的波长密度。以图 8 为例, 设暴露在光斑中的最短波长为  $\lambda_1$ , 最长波长为  $\lambda_2$ ,  $\Delta\lambda$  为同一窄带膜系的均匀滤光片的半宽度。由图可知, 渐变滤光片的半宽度可近似用下式表示:

$$\Delta\lambda_{\text{渐}} \doteq \left( \lambda_2 + \frac{\Delta\lambda}{2} \right) - \left( \lambda_1 - \frac{\Delta\lambda}{2} \right) \\ \doteq \Delta\lambda + (\lambda_2 - \lambda_1)。$$

一般, 渐变滤光片的入射光斑适合于采用长条形状。图中的数字是为了说明问题而任意给的。

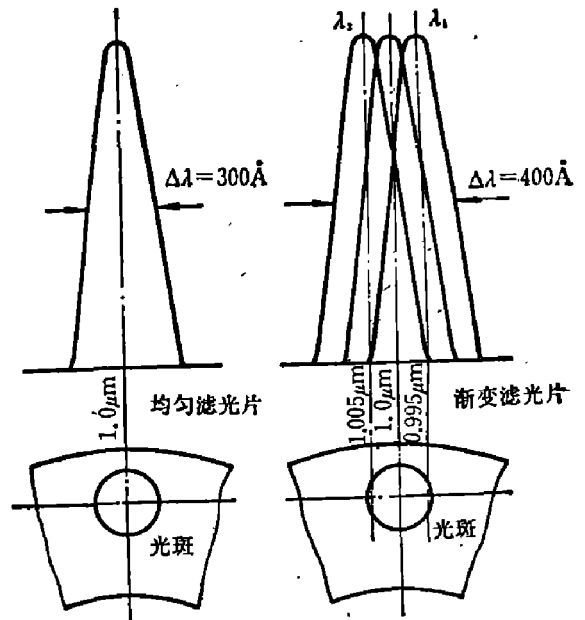


图 8 渐变滤光片半宽度图示

Fig. 8 Schematic diagram of the half-bandwidth of the variable filter.

## 五、结 语

我们制备的渐变滤光片,平均相对半宽度为1.9%左右;平均透过率为 $\geq 40\%$ ;次峰小于1%;测量的线性值为3%左右。这些指标还可根据使用目的和要求进行改变。

### 参 考 文 献

- [1] 杨树梅、卢昌义,光学工艺, (1979), 4: 26.
- [2] 周嘉穆、王世林,光学工程, (1985), 2: 41.
- [3] Alfred Thelen., *Appl. Opt.*, 4 (1965), 8: 977.
- [4] 邢作清、耿庆芬,光学机械, (1979), 5: 4.

## CIRCULAR INFRARED VARIABLE FILTER

XING ZUOQING

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)*

### ABSTRACT

By using a rotating mechanism with a single sector mask and two rotational speeds and by adopting the laser evaporation technique, the circular infrared variable filters with wavelength region of  $1.1\sim 2.4\ \mu\text{m}$  and diameter of 150 mm are made. The operational principle of the mechanism for making filters and the method of production are described. Finally, the characteristics of the circular variable filters are analysed.