

可变波长光学滤光器

摘要 由火箭和卫星进行的实验,可分析天空物体,如恒星的辐射,从而去发现物体光谱诸波段中所接受的辐射能级。本文提出在6—10吋直径的玻璃圆盘上制备可变波长光学滤光器的方法,这种滤光器可在光谱任意波段内按其转动的角度透射单一窄波带。滤光器的每层膜在真空室内是按其在基底上的位置从0°处某厚度到180°处另一厚度均匀变化地淀积在基底面上的。在淀积过程中膜层厚度变化是利用一对具有适当转速的金属遮蔽扇置于转动的基底与蒸汽源间转动而实现的。遮蔽扇的设计及其转动的相对转速是要细心地控制以得到所需的效果。用这种方法制备的典型圆形渐变滤光器,能进行线性扫描,在开始转动的180°范围内从4000—8000埃,而在余下180°内转动,则又回到4000埃;其他分布也可制备。

最近,已经设计一种遮蔽扇系统及齿轮箱能制备从0°到360°线性变化的分布。

前 言

圆型的透射波长与角位置间成线性关系的窄通带光学干涉滤光器对考察迅变光谱的事物是有用处的。使用一般真空蒸发装置制备这种滤光器是有困难的。但可指出,与所要求的极其相近似的透射特性的滤光器是能制备出来的。有关这项工作的理论在著者以前的文章中已叙述过。本文将更多地叙述有关制备可使用的滤光器的实验工作而较少地涉及制备这种滤光器的各种系统的理论。然而,也必须讨论一下,可以从静态和转动的水平基底得到所需膜层厚度的分布。

水平基底上的膜层厚度分布

理想的小面蒸发源

讨论可变波长滤光器,一种方便的着手办法是考察水平基底上膜层厚度随操作条件变化的途径。基底上某点的膜层厚度是与蒸发源的发射特性和基底对蒸发源的相对位置有关。

所述实际滤光器的设计与制备的根据是基于郝兰德提出的理想的定向的小面蒸发源的发射特性,也就是淀积在基底上的膜层厚度分布。

这种蒸发源仅从一个方向发生蒸发。对于在此小面蒸发源之上水平放置的静态基底,其淀积厚度 t 为

$$t = \frac{M}{\pi\rho} \cdot \frac{h^2}{(h^2 + \delta^2)} \quad (1)$$

式中

h — 从蒸发源到基底的垂直距离。

δ — 从蒸发源到基底某一点的水平距离。

ρ — 蒸发物质的密度。

M — 蒸发物质的总质量。

容易看出,当基底沿蒸发源的中心线上某点转动时,方程(1)仍描述淀积膜层的厚度并且基底径向距离上诸点淀积着等量的蒸发物质。若蒸发源自基底转轴作横向位移动,其等厚轨迹仍为圆形而且以转轴为中心,但是随径向距离淀积的厚度变化按横移距离的增加而减少。当水平基底位于单个小面蒸发源上转动,方程(1)变为

$$t = \frac{Mh^2}{2\pi\rho} \cdot \frac{2h^2 + (A+R)^2 + (A-R)^2}{[h^2 + (A+R)^2]^{3/2} [h^2 + (A-R)^2]^{3/2}}$$

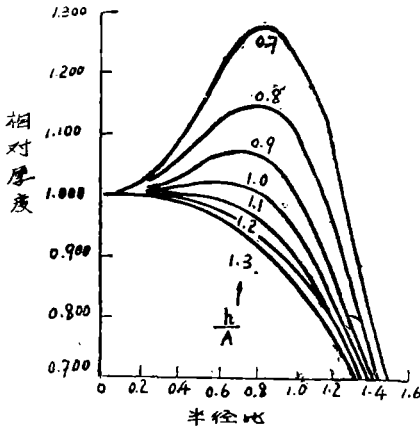
式中

A — 转动轴到蒸发源的水平距离。

R — 转动轴到基底上某点的水平距离。

对 (h/A) 取不同数值,其相对膜层厚

度 (t) 对半径比 (R/A) 的计算曲线绘于图 1 中。



1 图 厚度-高度关系计算曲线

已证明, 在所需精度范围内, 要得到符合赫兰德方程的厚度分布的蒸发源是难以实现的。

为克服此困难, 可使用图 2 中的蒸发源型式。

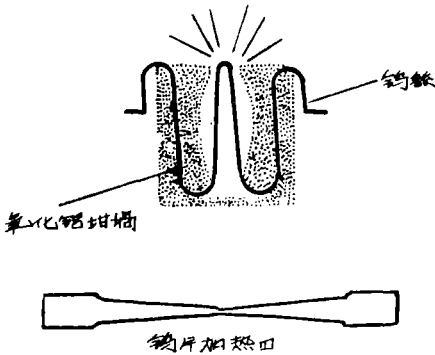


图 2 蒸发源

为了验证这类蒸发源制备膜层的均匀性, 也就是膜层分布, 曾做过大面积简单结构的窄通带滤光器试验。使用单色计与光电倍增管接受器系统测量其膜层均匀性, 把滤光器放在单色计入射狭缝前, 同时在与入射光束成垂直的方向移动以检验滤光器的均匀性。从这些结果, 对不同的 R/h 值绘成分布曲线, 这里 R/h 值取 1.65。

h — 基底到蒸发源的垂直距离。

R — 基底中心到蒸发源的水平半径。

当使用许多层的膜系结构, 为保持所需恒定

的蒸发特性, 则在蒸发期间应需改变 R/h 比值。

图 3 中绘出所述的厚度分布曲线对于改进的蒸发源, 其等厚度轨迹仍是圆形, 并且以转动轴为中心, 这是制备随位置改变波长的滤光器必需的准备工作的。

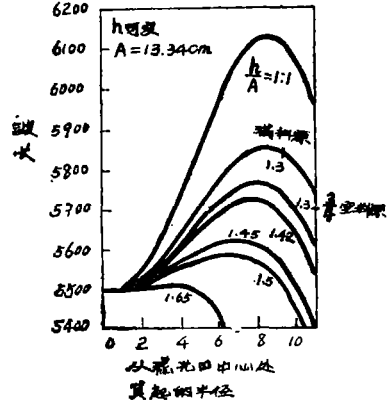


图 3 蒸发源厚度分布曲线

上面概述了利用改进常用的蒸发源来达到所需的厚度分布, 下面将进一步考察变化此分布的技术。

实 验

(1) 转动遮蔽扇技术

基底上淀积物质厚度分布的变化的明显办法是改变基底上不同部位对蒸汽源的暴露时间的长短。塞伦及一些工作者曾经指出, 利用两块金属遮蔽扇在静态玻璃基底与蒸汽源间转动就可以达到变化厚度的分布。

本工作使用相似的系统: 包括两块水平转动的遮蔽扇, 转动的基底以及常用的离轴放置的蒸汽源。我有一部短的电影拍摄了制备所需厚度分布用的齿轮箱系统。

以前说过利用转动的基底和多叶片遮蔽扇系统是显著地改善了塞伦的工作。这两个特点就能够制备复杂的多层膜系, 绝不限设计者只能制备简单的 MDM 型滤光器结构。已经成功地制备出氟化铅与氟化镁电介质膜层达 80 层之多的滤光器, 每层膜厚为四

分之一波长。

(2) 厚度分布计算

为了计算由于转动遮蔽扇所产生的厚度分布(遮蔽扇应与基底位于同一平面内),蒸发源的蒸汽分布应为已知,同时做各种计算,考察不同叶片数的遮蔽扇的影响。图4表示两种遮蔽扇系统在基底上同一点相等暴露时间的厚度分布结果。系统A包括两块单叶片遮蔽扇与两叶片遮蔽扇相对于基底转动分别为每秒两转与每秒一转。系统B包括两块8叶片遮蔽扇与9叶片遮蔽扇,其转动为每秒9转与每秒8转。从图中见到,若使用系统A时,其厚度分布很大程度依赖于蒸发源与基底暴露部分的相对位置所确定的蒸汽流。

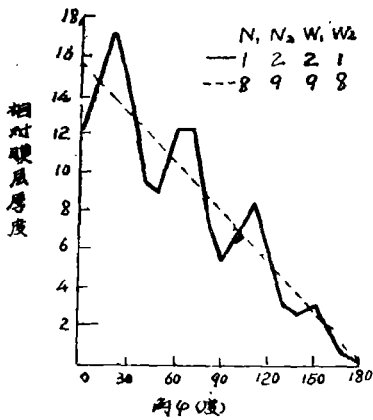


图4 遮蔽扇叶片数的影响

随着每块遮蔽扇叶片数增加,发生暴露的位置对厚度分布的影响就愈来愈小,直到系统B情况时,则厚度分布仅依赖于基底面上诸点暴露蒸汽源的时间。对于实际使用的目的来说,发现若 $N\omega > 20$ (ω 表每秒转数),于是就能得到连续变化的膜层。其他方面一些问题也联系着考虑过。

(a) 每块遮蔽扇叶片数的影响。可以证明,若 $N_1\omega_1 = N_2\omega_2$, N_1 与 N_2 为每块遮蔽扇的叶片数, ω_1 与 ω_2 为遮蔽扇相对于基底的转速,则对于挡-空比为1:1的遮蔽扇,其暴露时间与沿基底的角位置成线性变化,同时对相离开 180° 的两点成对称。两块遮蔽扇具有1:1的挡-空(M/S)比时,(例

如,两叶片遮蔽扇,就是把金属圆盘在直径的相对两端割去两块 90° 宽的扇状部分),暴露时间从基底上某点的零值起变化到直径上相对端点的总时间之一半值。

(b) 挡-空比值。下一步应考虑一块遮蔽扇或同时两块遮蔽扇(M/S)比的变化影响。图5表出用计算机对此所作的某些计算结果。从图中见到,每条曲线都包含一条

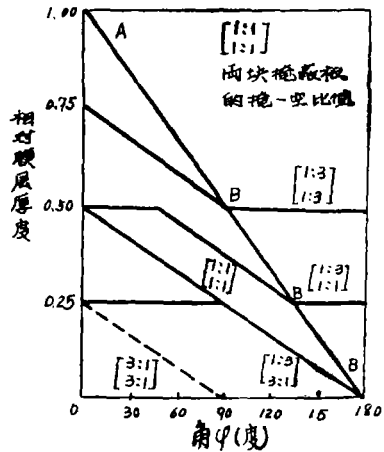


图5 挡-空比值的影响

倾斜部份(此部份平行于由1:1 M/S 比的两块遮蔽扇产生的曲线)和一条或二条水平部份。曾发现,若仅将一块遮蔽扇的挡-空比改变,那么不管其中那一块遮蔽扇改变,其结果都一样。再一个有趣的结果,通过诸曲线倾斜部份的最底端B点绘一条直线切割于坐标A点,所得到的厚度就如无遮蔽扇时的厚度。

(c) 一块遮蔽扇(8,9叶片系统)叶片的移除。变化 M/S 比,可以制备任何给定波长范围内(如4000埃到8000埃)的滤光器,但这个办法却限制了滤光器的使用面积,如图5所示。另外的办法为制备给定波长范围的滤光器是将一块遮蔽扇中的叶片移除一个或几个,在此情况下,差不多全基底为有用的滤光器。图6表示出这种办法得到的结果。

在图6中,曲线A表示 M/S 比为1:1时得到的。厚度从0.5 TNM (TNM表示无遮

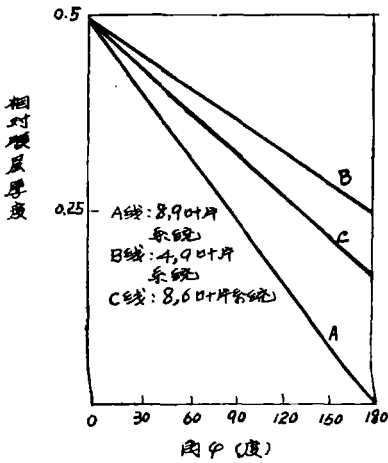


图6 叶片移除的影响

蔽扇膜厚)变化到零。曲线B表示从8叶片遮蔽扇中移除4叶片时对淀积膜层厚度的影响。从图中见到,这时厚度从0.5 TNM变化到0.25 TNM。曲线C表示从9叶片遮蔽扇中移除了叶片的影响,其厚度从0.5 TNM变化到0.167TNM。

将8与9叶片系统中的任何一块遮蔽扇改变叶片数,还可得到16条不同的直线,这些直线从图6中的A直线分布范围到具有0.5 TNM变到0.444 TNM的直线止。

同时移除两块遮蔽扇中的叶片时,则两者组合后,有些可以给出直线而有些就得不到直线。但通过从一块遮蔽扇中移除叶片的变化利用,这就没有必要去变化两块遮蔽扇。

从8—9叶片系统中产生出来的那些遮蔽扇,只不过是8叶片或9叶片遮蔽扇中移除去1、2、3个叶片。因此,为了从不同的叶片数的遮蔽扇产生相似的系统,方程(3)可以用来产生母扇系统,然后,将其中一块遮蔽扇的叶片移除。

实际滤光器的制备。在诸系统中,膜层等厚轨迹是从假想无遮蔽扇时淀积膜层的厚度来计算的。在实际中,采用适当的蒸发源是能够得到膜层的厚度。

基底上淀积膜层厚度的径向变化是由调

整几个叶片的挡-空比值来补偿的。再应考虑的因素是遮蔽扇与基底面的高度差。当遮蔽扇转动时,此将引起给定径向距离上的挡-空比值的变化。

采用具有适当曲率半径的叶片,已制备出径向上均匀厚度分布的滤光器。于是,当通过滤光器观察时,一组单色光谱源就呈现为一组径向光谱线或辐射条。因此,垂直圆盘圆周的谱线就使径向狭缝能满意地使用到滤光器的边缘。参看图7—10。图11为美国制备的类似的滤光器。

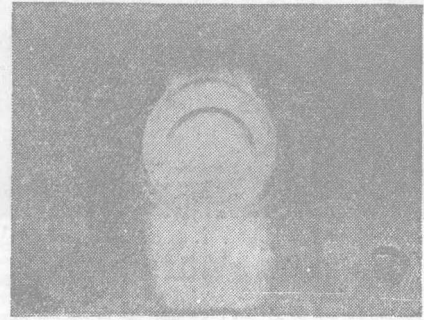


图7 未截除次峰 Hg 谱线

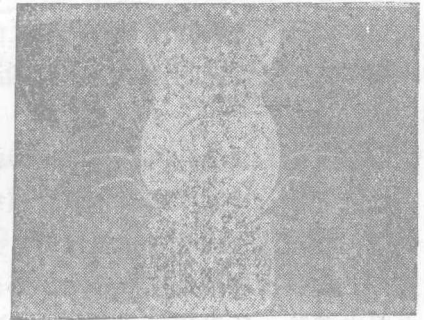


图8 已截除次峰 Hg 谱线

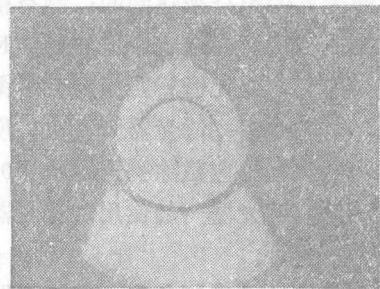


图9 未截除次峰 Cd 谱线

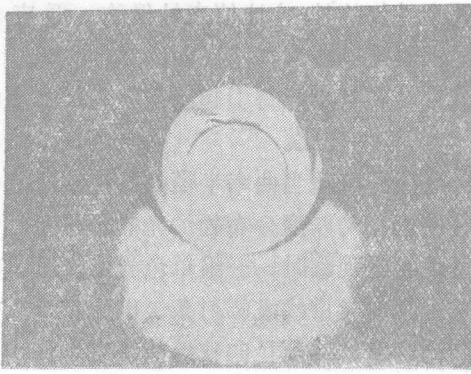


图10 已截除次峰 Cd 谱线

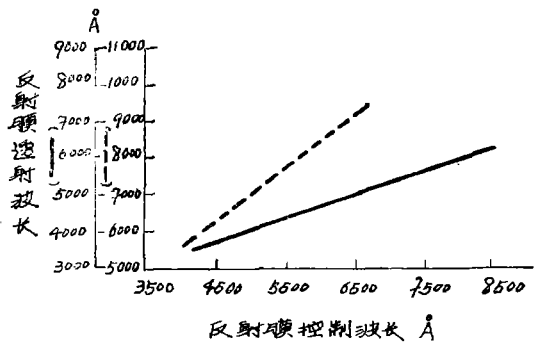


图12 硫化锌与冰晶石材料的11层 $\lambda/4$ 膜层的次峰截除曲线

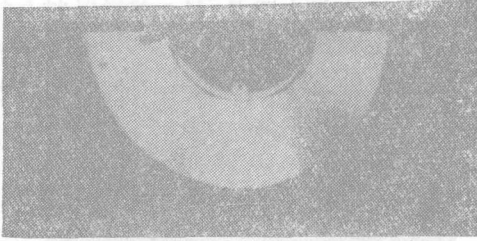


图11 同尺寸美国OCLI厂滤光器

所制备膜系的每层膜厚是在圆盘中心未遮蔽的部位测控，遮蔽区所需的 $\lambda/4$ 膜厚必须在此中心未遮蔽区以其倍数 $3\lambda/4$ 来测控，例如，设计制备4000埃—8000埃区的滤光器，其控制膜层将控制到 $3\lambda/4$ ，控制波长 $\lambda \approx 6000$ 埃。

滤光器次峰的截除。所有光学干涉滤光器具有如透过带一样的次峰带。全介质结构的滤光器在所需通带的长波和短波旁，具有许多通带。这些次峰带是不需要的，必须再加滤光器来截除。所采用的法卜利-白洛型滤光器的次峰截除是采用楔形反射膜系和颜色玻璃滤光器的组合来达到的；制备楔形膜系和取颜色玻璃时应选定合适波长同时与滤光器通带的角度变化值相匹配。参看图12。次峰截除器胶合在主滤光器圆盘上。所需光谱范围内的次峰带应截除到透过小于0.2%，同时截除到与滤光器一起使用的接受器的极限灵敏光谱区外。

利用所述技术已制备出一些滤光器。在图13与图14中列出一种滤光器的波长范围以

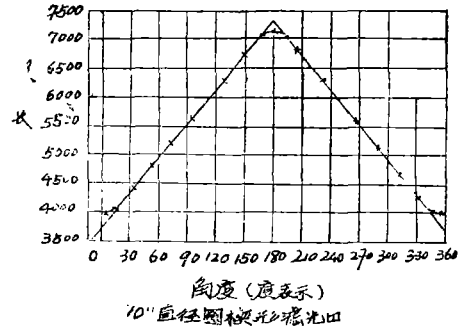


图13 10吋直径滤光器所测波长对角度关系

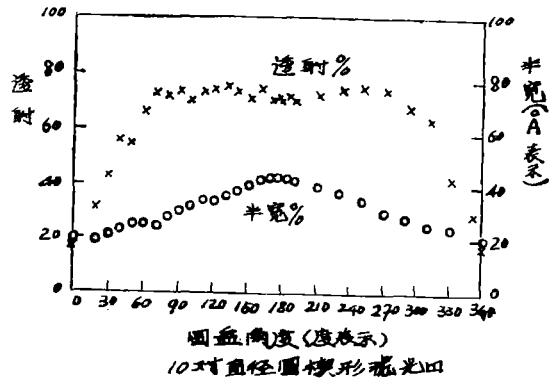


图14 CVF角度关系

及相关的带宽和透过率。滤光器是使用转动的遮蔽扇技术制备的。

结 语

真空淀积多层干涉滤光器的通带波长定位的均匀性是与基底对蒸发源所张的立体角

以及蒸发源的发射特性有密切关系。

若通带定位要求在整个滤光器表面上准到 ± 1 埃，则在大于10厘米直径的基底上制备小于10埃半宽度的窄带通滤光器是很困难的。

WRE成功地制备出通带均匀性，对10厘米直径基底，为 ± 2 埃，对3厘米直径基底，为 ± 1 埃的滤光器。

进一步完善关于平面发射源的厚度分布的实验与理论工作，将必然使能制备角位置的

与波长间成线性关系的较大直径的圆形滤光器。

制备圆楔形滤光器的方法已详细地探讨。

把两块转动的金属遮蔽扇放置于蒸发源与转动基底中间的方法就能制备出圆楔形滤光器，参看图15。这个办法能够制备宽范围内给定波长变化的滤光器。所建立的淀积膜层厚度的测控技术对常用离轴蒸发源能制备出所有类型的多层膜系结构滤光器。

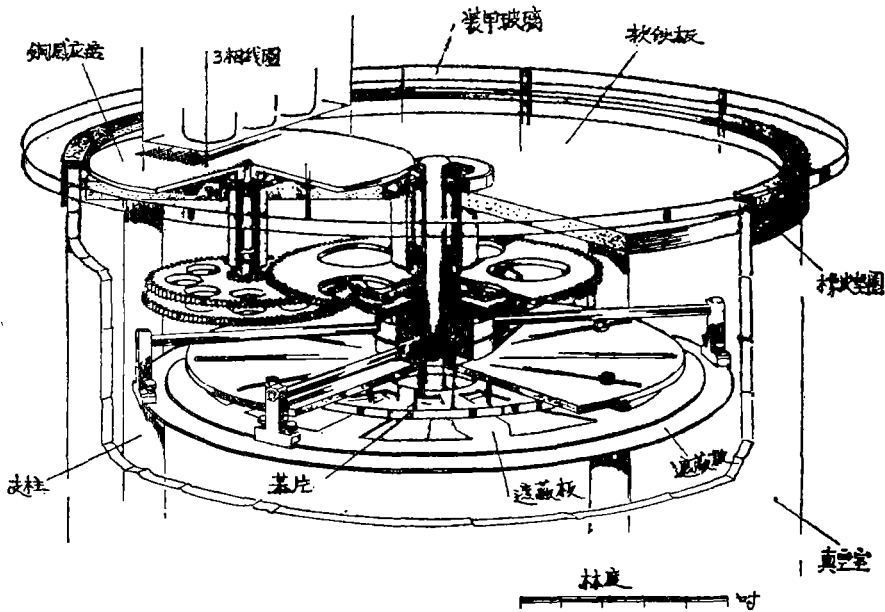


图15 转动的双遮蔽扇系统

译自 "Vacuum" Vol. 21, No. 3/4, p85—90 1971.

袁幼心 译，赵景愚 校