

镀窄带干涉滤光片用的直控极值法

尹 树 百

(中国科学院光电技术研究所)

一、引 言

直控极值法具有自动补偿各层膜的光学厚度的优点,至今仍被人们广泛采用^[1,2]。但在镀制窄带滤光片的最末几层时,有时会因出现反常现象而带来巨大误差,甚至失灵^[3]。本文用电脑模拟了滤光片的镀制过程,分析了出现反常现象的原因,从而提出了改进及消除这种现象的措施。结果表明:可以用带宽小于所镀滤光片的通带半宽度的光束来进行膜厚监控。

二、镀膜过程的模拟与分析

以十七层膜二级次的干涉滤光片为例,用电脑模拟镀膜过程,可以得到图1所示的理论透射率曲线。每条曲线分别对应于镀完该层膜后所得膜系的光谱透射率。一般来说,对于前十三层膜,每镀完一层膜后的透射率曲线与其后一层膜镀完后得到的透射率曲线,在滤光片峰值波长 λ_0 的邻域内,彼此不相交。因此 λ_0 处的透射率变化与控制光的光电输出信号的变化按正比例一一对应。

如果每层膜的光学厚度没有监控误差,则镀完前十四层后,便得到透射率曲线14,再加镀第十五层膜后,便得到曲线15。由图1不难看出,如果控制光束为波长 λ_0 的纯单色光,则当因镀膜使透射曲线由14转变成15时, λ_0 处的透射率即由 b 点增加到 c 点。如果由于监控误差使滤光片的峰值偏离控制波长,相当于控制光波长偏离 λ_0 ,并且未超过 B 点所对应的波长值,则在镀第十五层膜的过程中,滤光片的透射率仍随膜厚的增加而增大(例如,从曲线14上的 E 点增至曲线15上的 F 点),但是,其变化幅值总小于峰值点处的变化幅值 \overline{bc} 。前者将随控制光波长的偏离程度而逐渐减小,最后,当偏离至 B 点对应的波长时,幅值变化降为零,即镀完第十五层膜时的光信号强度与未镀前的相同。此点乍看起来,似乎表明,用 B 点对应的波长监控镀制第十五层膜时,无论该层膜蒸镀多厚,光电输出的指示应始终不变,即无法进行膜厚监控。(但是,后面将看到,情况并非如此。)其次,若波长偏移超过 B 点对应的波长值时,控制光的透射率便将随膜层的增加而减小(例如,从曲线14上的 G 点变至15上的 H 点),出现了通常所谓的反常现象。若称 B 点为输出光信号强度的折返点。

图1中的A、B、C、D等均为折返点。随着滤光片膜系的逐步完成,折返点将愈来愈趋近峰值波长,以致于镀最后几层膜时,控制光波长稍有偏移便会出现反常现象,从而造成镀制失败。

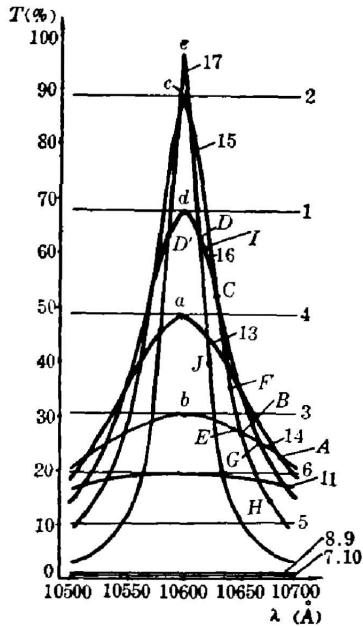


图1 窄带干涉滤光片各层膜镀完时的光谱透射率曲线

Fig. 1 Spectral transmittance curves of narrow-band interference filter after all its layers deposited

例如,当镀制第十七层膜时,若控制光波长偏离峰值点 20 \AA , 即已超过 D 点而达 I 点,随膜厚的增加,输出光强将逐渐减弱。该层膜镀完时,透射率不是从 d 点升到 e 点,而是从 I 点降至 J 点。另外控制光束通常并不是单一波长的纯单色光,而总是具有一定光谱宽度的复色光,所以问题还会更复杂。如果控制光的带宽为 $2\Delta\lambda$, 其中心波长对准 D 点,则镀第十七层膜使透射曲线由 16 逐渐变至 17, 此时,在 D 点左侧,透射率随膜厚增加而增大,在 D 点右侧,透射率却随膜厚增加而降低,接收器探测到的光电信号由两者之差决定,其指示可以是增大(正常),也可能是减小(反常),应视带宽 $2\Delta\lambda$ 而定;但无论出现那一种情况,其幅度变化均比峰值点处的变化小。这表明,滤光片最后几层膜镀制时,光电指示移动的格值均小于其对应的开头几层的值(计算上两者应完全相同,见图1)。由此,不但从理论上解释了出现反常现象的原因,还弄清楚了滤光片监控指示为什么没有理论预期的对称性。

为了进一步了解镀膜过程中透射曲线的详细变化,从第十三层开始对实际镀膜过程进行了电脑模拟,从而得到曲线簇图2。利用快速扫描分光光度计监控镀膜过程,并定时取样,亦能得到这类曲线簇。

观察这些曲线图发现,在镀膜过程中,光谱透射率随膜层厚度的变化规律为:(1)当滤光片的膜系从奇数层向偶数层过渡时(见图2(a)与(c)),其透射峰值先随膜厚的增加而向长波侧移动,待膜厚约达 $\lambda_0/8$ 时,便开始回头向短波侧移动,最后,当膜厚达 $\lambda_0/4$ 时,该峰值又移动回原波长 λ_0 处。(2)当膜系从偶数层过渡到奇数层时(见图2(b)与(d)),情况正好与上述相反,滤光片的峰值透射率先向短波侧移动,然后向长波侧移动而回到原 λ_0 处。(3)在各折返点 A、B、C、D 处(图1)的透射率并非象通常认为的那样,在整个镀膜过程中保持恒定不变,以图2(a)为例,其变化规律为:随着该层膜厚度的逐渐增加,透射率值起初连续增大(从 A 点升到 A' 点),当膜厚达 $\lambda_0/8$ 时,其值达某一极大值 A' 点,然后便随膜厚增加而连续减小,在膜厚达 $\lambda_0/4$ 时,又回到原值(A 点)。由此可见,如用折返点对应的波长进行膜厚监控,必然会引起很大误差。其原因似乎并不是人们通常认为的是其透射率不随镀膜变化所致,而往往是在膜厚达 $\lambda_0/8$ (A' 点) 时出现极值而使操作者停镀所造成。首先,操作者以为出现了反常现象,继而,又把 $\lambda_0/8$ 误认为是 $\lambda_0/4$ 。这样的膜厚误差对其后各层膜的蒸镀均会带来严重影响,有时甚至会得不到具有所期特性的滤光片。

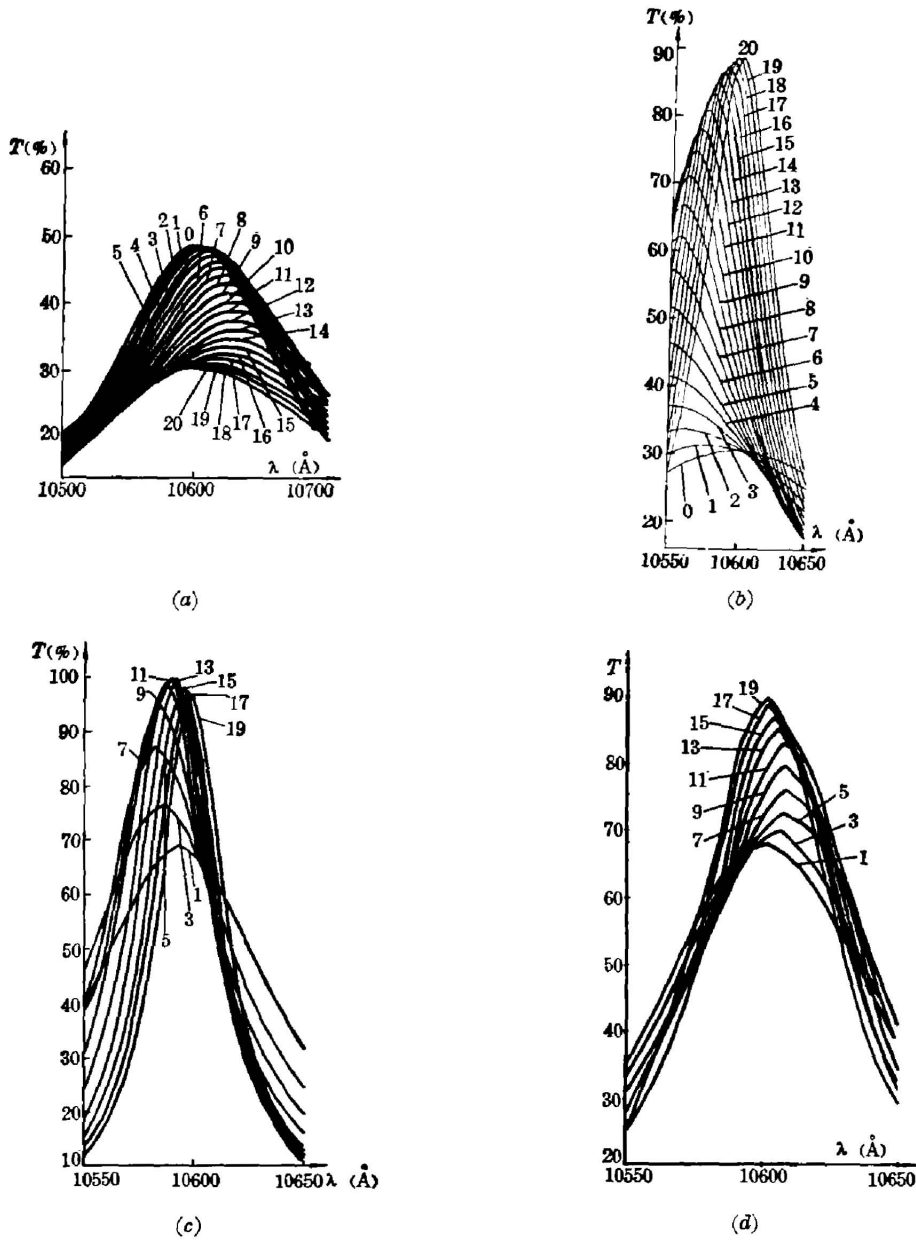


图2 镀膜过程的计算机模拟

(a) 第十三至第十四层; (b) 第十四至第十五层; (c) 第十五至第十六层; (d) 第十六至第十七层

Fig. 2 Computer simulation of the evaporation process

(a) from 13th-14th layer; (b) from 14th-15th layer; (c) 15th-16th layer; (d) 16th-17th layer

三、结 束 语

根据对镀膜过程的模拟表明: 直控极值法可以用来监控滤光片的镀膜, 但要保证镀制的可靠性和重复性, 控制光束的单色性和膜厚控制的准确性是至关重要的。根据本文的分

析: 控制光束的光谱宽度应小于所镀滤光片最后两层膜的两折返点之间距 24λ (即图 1 中的 $\overline{DD'}$), 由监控误差所引起的滤光片峰值的漂移以小于 $\delta_\lambda = \left(\lambda_0 \pm \frac{1}{3} \Delta\lambda\right)$ 为好。此外, 尚需保证接收器与放大器等有良好的线性和稳定性。膜料折射率亦应加以控制, 最好能使之恒定。

张家戎同志参加了其中部分工作, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] H. A. Macleod; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, No. 1(1 Jan), 82.
 [2] 尹树百;《激光》, 1978, No. 3, 76.
 [3] H. A. Macleod 著, 周九林, 尹树百译;《光学薄膜技术》, (国防工业出版社, 1974), 345.

Direct extreme monitoring method for narrow band interference filter coating

YIN SUBAI

(*Institute of Optics and Electronics, Academia Sinica*)

(Received 20 November 1981)

Abstract

A computer simulation of the monitoring process has been performed. It is shown that the direct-extreme-monitoring method has the best performance, provided that the spectral bandwidth of the monitoring light beam is narrower than the interval between the turning points, and the drift of control wavelength is lower than one-third of the above mentioned interval.

'83 国际激光会议预告

Announcement—1983 International Conference on Lasers

《1983 年国际激光会议》将于 1983 年 9 月 6 日至 9 日在中国广东省广州市召开。会议由中国光学学会主办, 中国光学学会理事长任会议主席。

会议的征文范围为: 激光物理、激光化学、激光器件、激光工程和工艺以及激光应用等方面。征文截稿日期 1983 年 2 月 28 日。

中国方面的征文稿请用“印挂”投寄上海 8211 信箱王之江教授, 信封上务请注明《'83 会议》征文稿。

来稿要求: 35~50 字的摘要和 800~1000 字的提要, 中英文对照各一式两份。若有必要的图、表、照片, 必须一式两份, 并要求清晰符合出版规格。

(‘83 国际激光会议筹备组供稿)