

三半波带通滤光片的制作与膜厚分析

张子业 周东平 张凤山

(中科院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要 在光学薄膜镀制中, 比较片与样品片之间的厚度比例关系是间接监控法成功的重要参数. 计算表明, 三半波带通滤光片中心位置能大致推测出这一关系, 通带形状能粗略反映镀制过程中的变化以及不同膜料间的比例系数差别. 后期, 作者顺利制作出多个不同中心位置的带通滤光片.

关键词 薄膜光学; 三半波滤光片; 比例系数; 膜厚分析

中图分类号 O484.4 **文献标识码** A

0 引言

F-P 滤光片的通带形状近似成三角形, 它有多于一半的能量在半宽度之外. 将几个 F-P 滤光片串置起来一方面能得到较好的矩形度, 另一方面能提高截止深度. 参与耦合的 F-P 滤光片越多, 通带的矩形度越好, 截止区越深. 两半波、三半波滤光片是通常的选择.

误差分析表明, 对 F-P 滤光片来说, 间隔层的影响最大, 而依次向外的反射层影响越来越弱^[1]. 而对于多半波滤光片来说, 一方面要求 F-P 腔足够精确, 另一方面腔的匹配也是成功的关键所在. 添加修正挡板和旋转工件架可得到较好的均匀性^[2], 但后者不易直接监控样品片上的膜层厚度. 通常监控的是一块并不旋转的比较片, 通过样品片与比较片之间的膜厚比例关系间接得到样品片的膜系.

规整带通膜系存在一定的误差补偿效果^[3], 比较片的监控精度可能很高; 但由于采取间接监控, 比较片与样品片间的膜厚比例关系不易很好把握, 而且在镀制过程中还会发生变化, 使得样品片上的实际膜厚与设计不再一致, 难以得到较好的通带位置和波形. 本文通过分析三半波滤光片的制作来讨论这个问题.

1 分析与制作

第一批制作的三半波滤光片膜系为 $G|(LHLHLHL2HLHLHLH)3L$; 在分析计算中, 取折射率 $G:1.52, H:2.04, L:1.44$, 设计波长为 550 nm.

1.1 通带位置的移动

在制作带通滤光片时, 首先注重的是波形, 然后再进行中心位置调整. 为描述方便, 记高、低折射率材料在样品片上的膜层厚度与在比较片上的厚度之比分别为 r_H 与 r_L . 计算表明, r_H 与 r_L 只要在整个镀

制过程中相对固定, 即使与实际值存在较大的偏差, 也能得到良好的波形, 见图 1 与图 2. 尽管通带位置

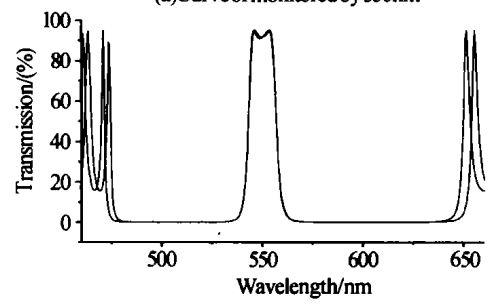
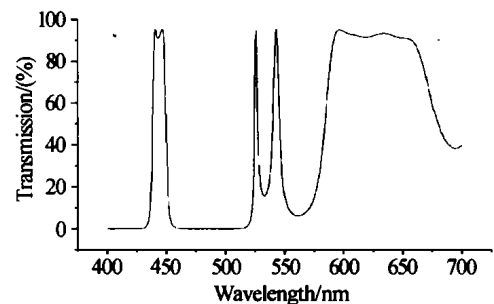


图 1 比例系数偏小下带通膜系模拟
Fig. 1 Simulation of band-pass filter with small tooling factor

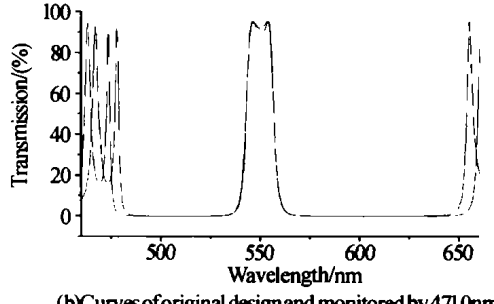
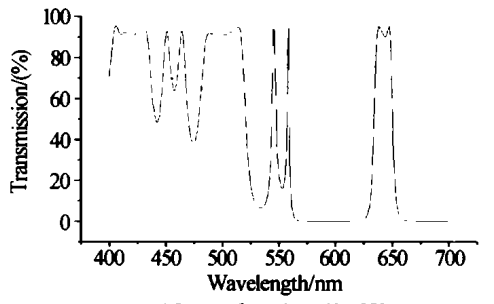


图 2 比例系数偏大下带通膜系模拟
Fig. 2 Simulation of band-pass filter with big tooling factor

偏差比较大,但可以通过后来的位置移动试验进行弥补. 令原设计波长和首次监控比较片用波长均为 w_1 , 实测样品片的通带位置在 w_2 , 则只需要调整监控波长为 $w_1 \times w_1/w_2$, 就能得到准确的位置. 这里假定镀膜过程中比例系数不发生变化, 即过程是稳定的. 图 1 与图 2 分别说明了比例系数偏小与偏大时的情形.

例 1: $r_H = 1/1.2$, $r_L = 1/1.3$, 此时样品片上膜层的实际厚度比较片上的膜层要薄, 而且低折射率材料偏少. 如图 1(a), 第一次模拟镀制的中心位置约在 444 nm, 未达到 550 nm 的设计要求. 更改比较片的监控波长为 $550 \times 550/444 = 681.3$ nm, 结果如图 1(b), 主峰位置、波形与原始设计相差无几.

例 2: $r_H = 1/0.9$, $r_L = 1/0.8$, 如果第一次监控仍使用 550 nm, 则样品片通带的中心位置约在 642.3,

见图 2(a). 如更改比较片的监控波长到 $550 \times 550/642.3 = 471$, 就能得到 550 nm 处的带通, 见图 2(b).

值得注意的是, 高低折射率材料比例系数相同的情况下, 峰谷大致在中, 如果 L 层少则峰谷偏左, 截止区向左移动, 参见图 1(b); L 层多则峰谷偏右, 截止区朝右移, 参见图 2(b). 可见, 通过实测曲线与理论曲线的对比, 能分析高低折射率材料比例系数是否一致.

1.2 膜厚比例变化带来的影响与消除

有了通带中心位置的移动方法, 即将工作重心放在制作好的波形上来. 计算中不再考虑中心位置, 仅从波形部分考虑.

制作过程中, 将单个腔放在一块比较片上完成, 尽量利用误差补偿效应. 此处计算采用了同样的分法. 图 3 表明, 在三半波滤光片中, 尽管单个腔只存

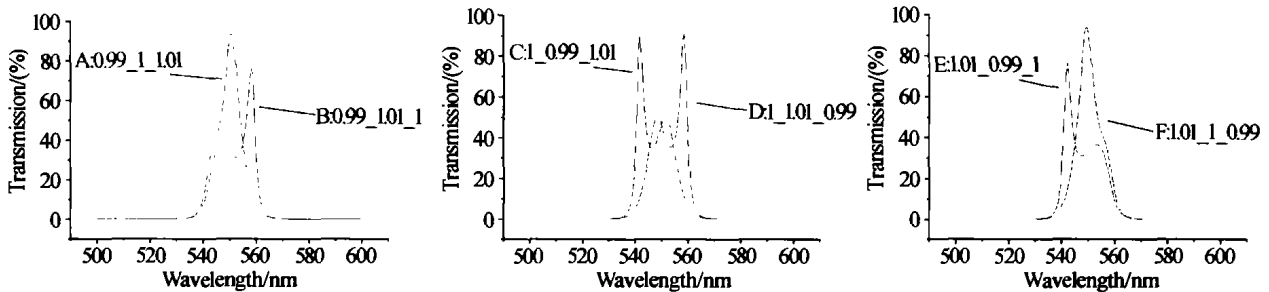


图 3 比例系数变化带来通带波形变化的模拟
Fig. 3 Simulation of changed tooling factor during deposition

在 1% 的厚度变化, 最终的结果也不能接受.

图中 A: 0.99_1_1.01, 所代表的膜系为 0.99(LHLHLHL2HLHLHL)(LHLHLHL2HLHLHLHL) 1.01(LHLHLHL2HLHLHLHL)L; 即将系数乘进三个 F-P 腔中, 其余图示计算方法类同. 此时假定 H、L 比例系数相同且发生同样变化, 对应三块比较片, 它们的比例系数分别是 0.99, 1, 1.01. 其余的图示与之意义相当.

对应该膜系, 中间腔最小或最大, 都会使得波形出现较深的凹坑; 如果依次变大或变小, 则出现塌肩.

由于监控误差等因素的影响, 样品的实测曲线与图 3 中各曲线不会完全一致, 但仍可以进行对照分析. 适当增加或减少比较片的监控波长进行弥补, 使得再次镀制的结果达到设计目标. 如果实测曲线形似 F, 可知后来的膜厚比例系数依次变小, 导致实际样品后续腔偏薄, 则可将后面二块比较片的监控波长递增 1% 来加以弥补.

1.3 实际制作

本次制作的第一块带通滤光片的中心波长为 765 nm. 通过对它的试验、分析与制作(参见图 4), 随后很快试制出近 10 个不同位置带通滤光片的主峰. 镀制工作是在国产南光 1200 机器上进行的, 图

4 中的曲线簇是工件架上不同半径处的实测曲线. 由于工件架上内外圈比例系数在镀膜过程中变化不一致, 而弥补只能针对某一圈, 所以内外圈的样品有差别, 不易同时出现较好的波形, 参见图 4(b).

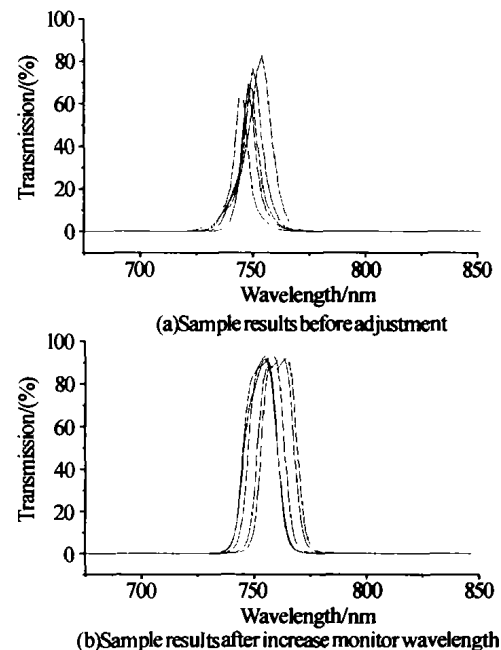


图 4 765 nm 带通滤光片的制作
Fig. 4 Trial-manufacture of 765 nm band-pass filter

对于其他位置的带通滤光片, 则因为比例系数

变化的情况不同,需重新分析.

2 结论

比较片与样品片之间固定的比例系数对三半波滤光片波形的好坏影响不大,而且通带位置可通过调整监控波长来进行重新定位.

在镀膜过程中,由于种种因素导致各腔比例系数不同,即使差异不大,也会带来通带波形的恶化.可以根据实测通带形状进行适当弥补来制作更满意的带通滤光片.

文中只作了简单的假定,即同一块比较片上所有膜层的膜厚比例系数不变.实际的膜厚比例系数变化情况要复杂得多,而且与镀膜设备与工艺紧密

相关.增加镀膜过程的稳定以保持比例系数不变才是顺利镀制各种高质量膜系的最佳途径.

参考文献

- 1 顾培夫. 薄膜技术. 杭州: 浙江大学出版社, 1990. 176
Gu P F. Thin Film Technology. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1990. 176
- 2 林坚, 林永钟, 廖群峰. 光学薄膜厚度修正挡板的设计. 光子学报, 1999, 28(9): 841 ~ 844
Lin J, Lin Yo Z, Liao Q F. Acta Photonica Sinica, 1999, 28(9): 841 ~ 844
- 3 Macleod H A. Error compensation mechanisms in some thin-film monitoring systems. Optica Acta, 1977, 24(9): 907 ~ 930

Three Half-wave Filter and Analysis of Layer Thickness

Zhang Ziye, Zhou Dongping, Zhang Fengshan

Shanghai Institute of Technological Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083

Received date: 2004-03-16

Abstract Tooling factor is one of the most important parameters in optical thin film coating process. Calculation indicates that, while coating three half-wave filter, it is possible to roughly get this factor from the passband center position, factor variation and factor difference of different materials from the shape of measurement curve. With this method, we have produced several kinds of bandpass filters.

Keywords Film optics; Three half-wave filter; Tooling factor; Thickness analyzing



Zhang Ziye was born in 1973 in Anhui Province. He graduated from the department of physics, Wuhan University in 1995, and gained master's degree from SITP in 2001. Now, he applies himself to develop automatically monitoring system for local optical film device.