

基于宽光谱扫描法的光学膜厚监控系统的研究

王海峰, 黄光周, 于继荣

(华南理工大学 电信学院物理电子与光电子系, 广东 广州 510640)

Study of Optical Filter Film Thickness Monitoring System Based on the Method of Wideband Spectrum Scanning

WANG Hai-feng, HUANG Guang-zhou, YU Ji-rong

(Department of Electronic and Correspondance Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The status of manufacturing and application of optical filters were described in brief, discussing the conditions on how to obtain high quality filter film were discussed. And the inherent limitations of the method of photo-electricity limiting value in prevailing film monitoring methods were briefly analyzed. A film thickness monitoring system based on the method of wide band spectrum scanning was proposed, its principle, hardware system and controlling flow were introduced. Finally, the expectation of its application in the area of monitoring the narrow-bandwidth film was also discussed.

Keywords: Optical filter; Method of photo-electricity limiting value; Method of wide band spectrum scanning

摘 要: 简要介绍了光学滤光片的制造与使用状况, 讨论了获得高质量的光学滤光片的条件, 简单分析常用方法中光电极值法的固有缺陷, 提出一种基于宽光谱扫描法的膜厚控制系统, 重点介绍其监控原理、硬件系统及其控制流程, 并对其性能进行分析和讨论。

关键词: 滤光片; 光电极值法; 宽光谱扫描法

中图分类号: O484 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-8935(2004)06-0029-03

近 30 年, 在光学技术、彩色摄影及彩色电视、激光和空间、计算机等技术发展的推动下, 光学薄膜的设计、应用越来越广泛, 其广泛应用于光学精密计量、测试领域、宇航技术、制导技术、激光技术及仿真技术等高科技领域, 如计算机的液晶显示屏, 多通道光纤通信中的消偏振截止滤光片, 光通信系统中的波分复用器用窄带滤光片等, 光学薄膜的设计制造已经成为重要的产业。要获得满足各项性能指标的光学薄膜, 除了采用优越的膜系设计方法进行膜系设计之外, 还必须采用可靠的制膜工艺, 包括对膜层的生长方法、膜层厚度的精确控制、镀膜过程的实时监控及后继工艺等^[1]。

对于光学薄膜的膜系设计已经发展了多种自动优化方法如: 共轭斜量法、针法、遗传退火算法等, 可以获得性能优越的光学膜系设计指标^[2~4]; 可以采用等离子体辅助沉积 (Plasma-IAD) 的方法, 有效避免薄膜内部的缺陷和膜厚的均匀性; 关于膜厚实时控制系统, 目前使用广泛的主要有基于光电极值法的膜厚控制系统和基于宽光谱扫描法的控制系统, 其中, 光电极值法主要用于监控规整膜系 (膜层厚度为监控波长的 1/4 的整数倍), 宽光谱扫描法可以监控任意厚度。光电极值法存在极值点监控参数变化缓慢的缺陷, 在实际镀膜过程中采用过正控制或者微分方法进行补偿, 但这些方法都需要靠经验来判断, 不可避免地带来误差, 很难保证实际膜厚符合设计值^[5,6]。

宽光谱扫描法可以在镀膜过程中实时观察膜系

收稿日期: 2004-04-22

作者简介: 王海峰 (1974-), 男, 硕士, 主要从事物理电子与光电子技术研究。

的光谱特性,利用实测的光谱曲线与理论光谱曲线进行比较,以评价函数表示比较结果并将其返回给控制系统,可以消除主观因素的影响,得到精度很高的膜系。对基于宽光谱扫描法的镀膜系统,法国马塞国家表面和光学薄膜实验室和加拿大国家研究院的 Powell 等^[7]已经建立了实用的监控系统;在国内,许多从事薄膜研究的工作者对此作了大量的研究,宽光谱扫描法主要监控宽带薄膜的制备,到目前为止,采用宽光谱扫描法的镀膜系统还处于研究阶段,技术尚未成熟,而且采用此系统进行窄带滤光片薄膜的制备还没有见到报道,本实验室正在进行基于宽光谱扫描法的膜厚监控系统的研究试验,本文就此系统的监控原理、软硬件系统及其监控性能进行讨论。

1 基于宽光谱扫描法的膜厚控制原理

如图 1 所示,假设 T_r 和 R_r 分别为控制片后表面的透过率和反射率; T_0, R_0 和 T_i, R_i 分别为控制片前表面镀膜前和镀膜后的透过率和反射率,那么在镀膜开始前透过的光能量为:

$$\phi_0(\lambda) = \frac{\phi_\lambda(\lambda) T_r T_0}{1 - R_r R_0} \quad (1)$$

在镀膜过程中的光能量为:

$$\phi_i(\lambda) = \frac{\phi_\lambda(\lambda) T_r T_i}{1 - R_r R_i} \quad (2)$$

由式(1)和式(2)可得:

$$\frac{\phi_i(\lambda)}{\phi_0(\lambda)} = \frac{T_i(1 - R_r R_0)}{T_0(1 - R_r R_i)} \quad (3)$$

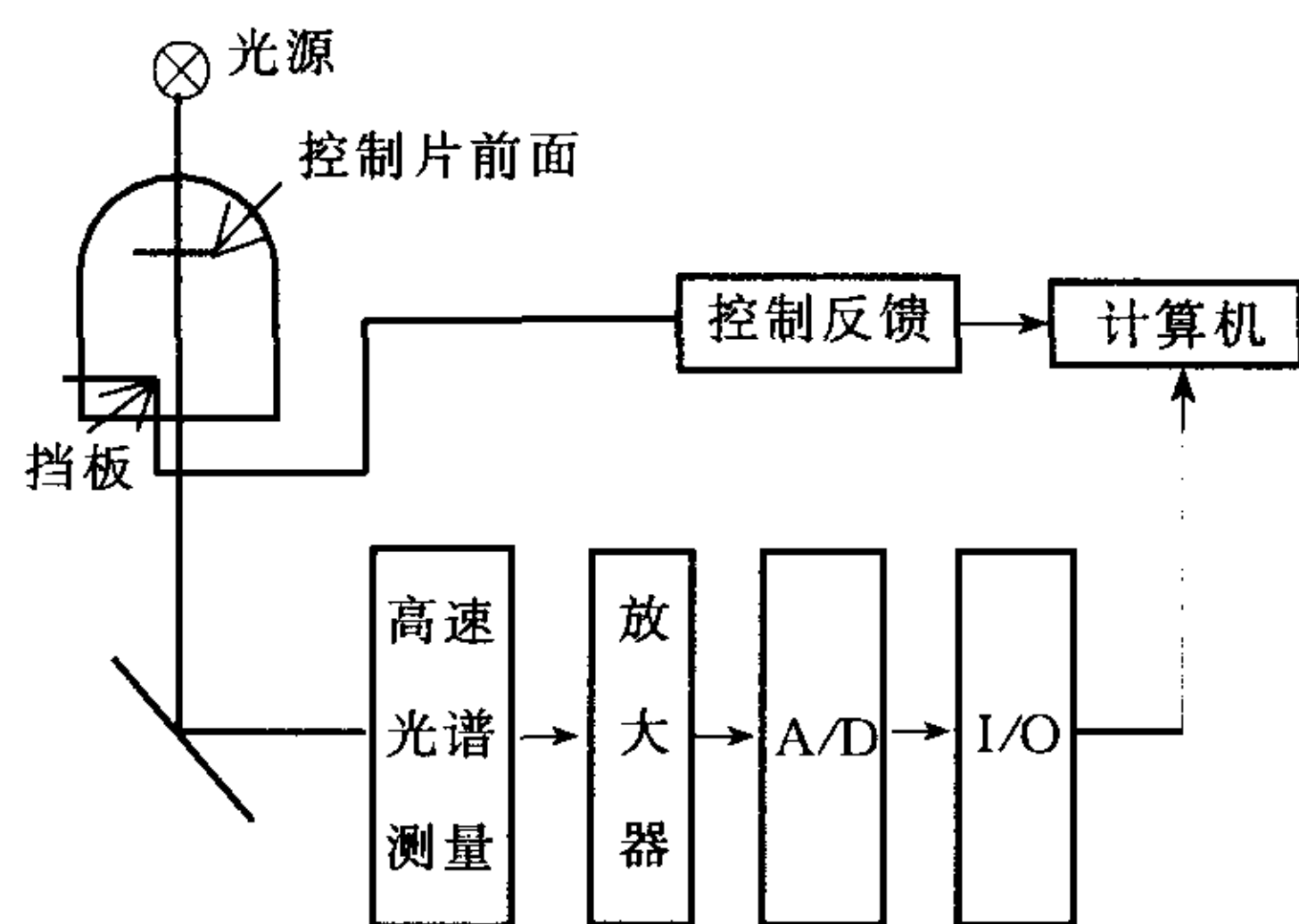


图 1 宽光谱膜厚控制系统原理图

当制备多层膜时,第 i 层的透过率 T_i 不但与该层的折射率 n_i 和膜厚 d_i 以及所测的波长 λ 有关,而且与前 $i-1$ 层膜中每层的 n 和 d 有关。若前 $i-1$ 层膜的 n 和 d 已知,以及第 i 层膜折射率 n_i 稳定的情况下,则 T_i 仅与所测波长 λ 和厚度 d 有关,即: $T_i = T_i(\lambda, nd)$,若第 i 层膜厚设计要求为 d_i ,则

镀完第 i 层膜后,理论上的透过率情况为: $T_{0i} = T_i(\lambda, n_i d_i)$ 。于是,在 λ_1 到 λ_2 的整个宽光谱区间内,变量 d 与设计值 d_i 所表现出的光谱透射情况为:

$$f_i = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} |T_i(\lambda, n_i d_i) - T_{0i}(\lambda, nd)| \cdot d\lambda \quad (4)$$

式(4)中 f_i 为第 i 层的评价函数。在镀制过程中,当 d 逐渐逼近 d_i 时,应达到一极小值,这样就可达到监控膜厚的目的^[7]。

2 基于宽光谱扫描法的膜厚控制系统的设计

2.1 膜厚控制系统要实现的功能

(1)监控片光谱特性实时显示。在屏幕上实时显示出监控片的光谱特性曲线是完成宽光谱膜厚监控仪监控镀膜过程的基础。

(2)初始化。校正光源不稳定及 CCD 温度效应引起的误差,同时确定 CCD 像元和谱线位置的对应关系。

(3)薄膜参数自动拟合。对理论值作微调,可以有效抑制误差的积累。

(4)反馈信号产生。当评价函数达到极值时,此软件驱动 A/D 转换控制卡的数字输出端口,产生一个输出控制信号,传送给膜厚控制系统,实现自动控制。

(5)总控制。实现人机交互界面,实现各个部分的调控。

2.2 膜厚控制系统的组成

如图 2 所示,具体实现的硬件系统由 WDS-6 型多通道分析仪、PCL-711B 型 12 位数据采集卡、TDS6701P 型 DSP 处理卡、主机、膜厚控制系统及真空系统组成。其中,WDS-6 型多通道分析仪由扫描系统、线阵 CCD、信号放大系统等组成,由它完成对透射光谱信号的扫描及放大;PCL-711B 型 12 位数据采集卡实现对 CCD 信号的采集;TDS6701P 型 DSP 处理卡用于实时数据采集及快速处理与显示;膜厚控制系统接收 DSP 处理卡的反馈信号,实现镀膜系统的自动控制功能。

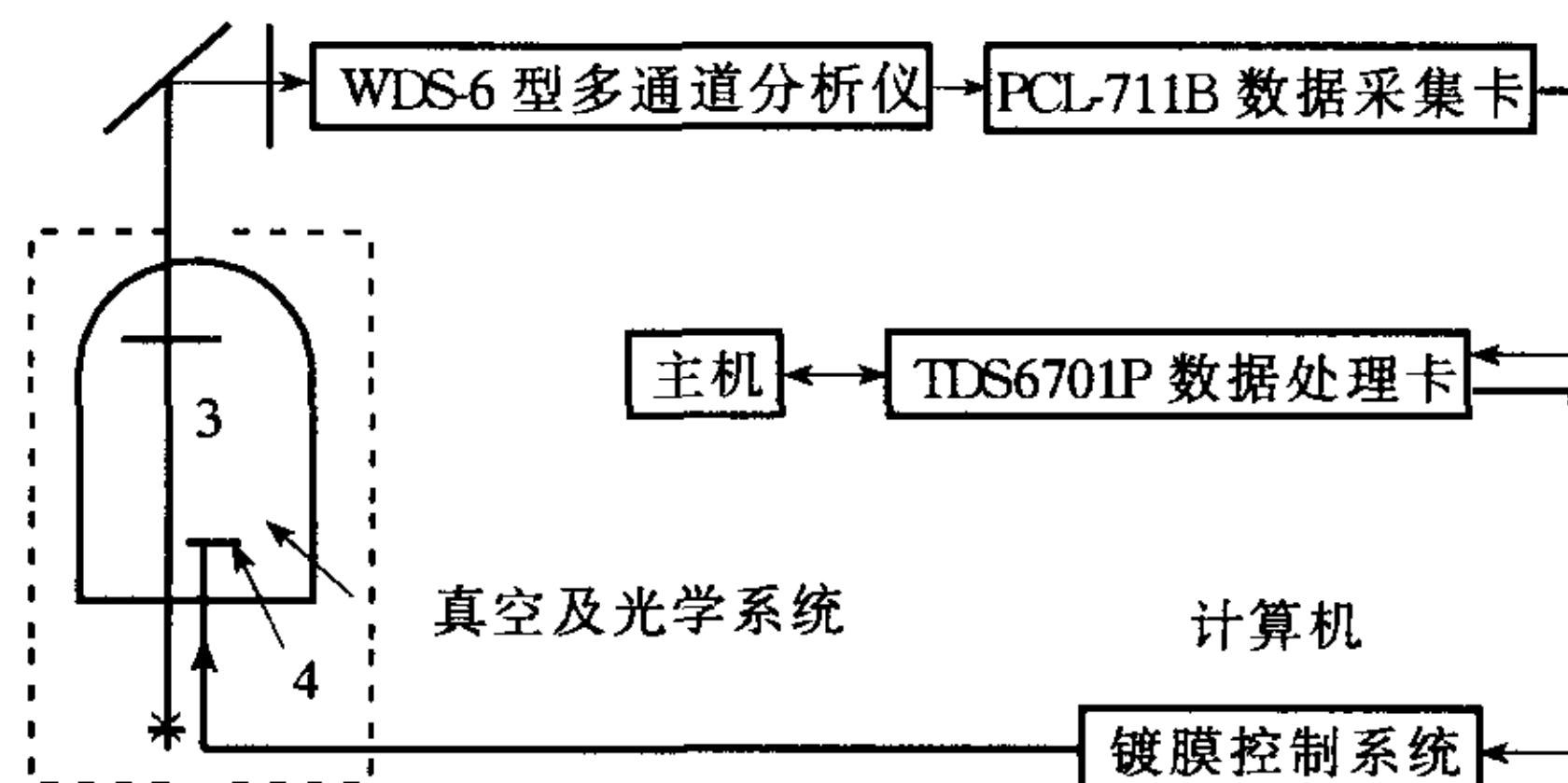


图 2 膜厚控制系统硬件组成框图

2.3 膜厚控制系统的工作流程^[8]

从光源发出的光经光路聚焦,通过控制片后经光纤传入 WDS-6 多通道分析仪,由线阵 CCD 进行自扫描,采集每一像元接收到的光谱信息,由 PCL-711B 型 12 位数据采集卡将 CCD 采集的光谱模拟信号转换成数字信号,送入 DSP 数据处理卡,经处理后求得实际透射率,再与目标透射率相比较求出评价函数(进行目标光谱的实测光谱比较),当评价函数达到极小值时,停止蒸镀和采集,否则将实际透射率传送到主机,由主机拟合所镀膜层的实际透射率和膜厚,从而重新求出目标透射率,再将其传送到 DSP 处理卡继续采集,上述过程不断循环,直至评价函数达到极小值。其工作过程如图 3 所示。

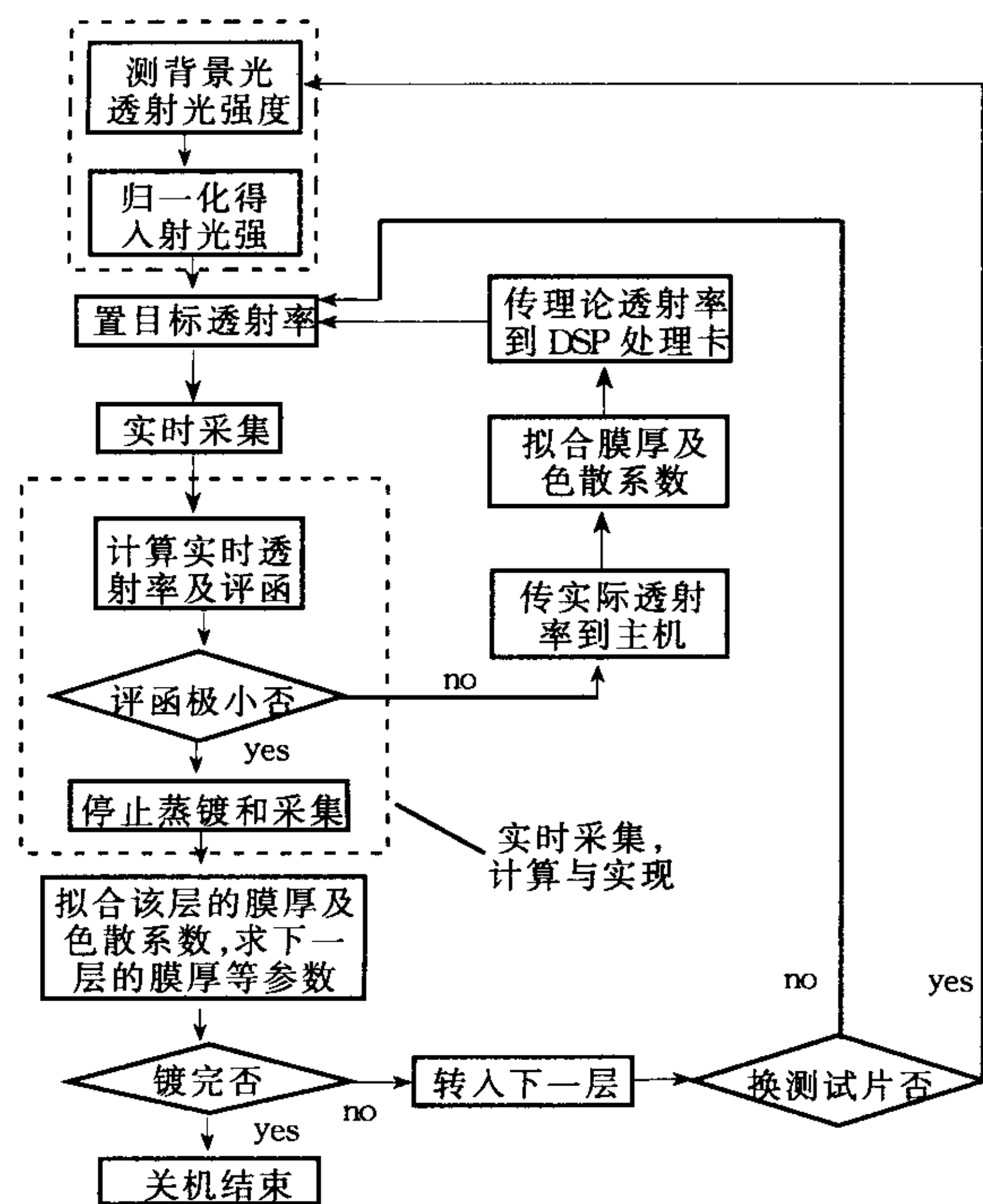


图3 膜厚监控流程图

3 分析和讨论

(1)宽光谱法监控系统以计算机和 DSP 高速数据处理卡为基础,把 CCD 采集到的各谱线对应的光强信号输入计算机,由计算机软件程序对输入信号进行处理,并将处理结果和理论曲线通过评价函数作判别,克服了基于光电极值法依赖操作者的经验值的缺陷,可以获得各自峰位和中心波长的很好的重复性、很高波长分辨率和透射率精度^[9]。

(2)用软件校正由于光源不稳定以及 CCD 温度效应引起的误差,可以减小光路系统的复杂性。

以往的基于宽光谱扫描法的监控系统,由于完全依赖事先设定的膜层目标透射率,而且膜厚监控系统复杂、价格很高。随着理论的发展,目前的监控系统能及时地拟合出所镀膜层的色散及折射率,据此计算出目标透射率,从而不断对它修正,以达到准确判断;同时在蒸镀结束后根据已镀膜层的折射率和膜厚,设定下一层的光学厚度,消除前面各层的误差影响,避免误差的积累。这就从根本上克服了过去宽带膜厚监控技术原理上的固有缺陷,极大地提高了膜厚监控精度;随着 CCD 系统的大量制造与应用,价格问题已经大大降低,此系统以软件判断评价函数的极值点,克服了光电极值法需要依赖操作者经验的缺陷,可以获得很高的重复性和精确度,本实验室对 TiO_2 , SiO_2 高反膜试验时获得的拟合数据显示峰位和中心波长具有很高的重复性,本实验室正在进一步开展其在窄带滤光片光学薄膜厚度监控方面的试验。

参 考 文 献

- [1] 顾培夫. 薄膜技术[M]. 杭州:浙江大学出版社,1990, 155-179.
- [2] Willey R R. Achieving Narrow Band-Pass Filters Which Meet with the Requirements for DWDM[J]. Thin Solid Films,2001,398/399:1-9.
- [3] 周 健,林永昌,顾永琳. 一种新的光学膜系设计方法—needle法[J]. 北京理工大学学报,1997,10(17):570-573.
- [4] 叶美盈. 基于整体退火遗传算法的膜系设计方法[J]. 光电工程,2000,6(27):12-15.
- [5] 杨毓敏,顾培夫,刘 旭. DWDM用窄带滤光片的容差特性模拟分析[J]. 光子学报,2003,3(32):352-356.
- [6] 权贵秦,韩 军,弥 谦. 一种基于光电极值法的光学膜厚监控系统的改进设计[J]. 应用光学,2003,23(4):30-32.
- [7] 周鹏飞,陈桂莲,张荣福. 宽光谱膜厚监控仪的研制[J]. 光学仪器,2001,12(23):36-40.
- [8] 刘晓元,黄 云,周宁平,等. CCD在光学镀膜宽带膜厚监控系统中的应用研究[J]. 光学技术,2001,3(27):143-149.
- [9] 刘晓元,黄 云,周宁平,等. 光学镀膜宽带膜厚监控系统[J]. 国防科技大学学报,2001,23(1):23-27.