

CAD 在光学薄膜设计和生产中的应用

杨树梅

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 本文介绍了计算机辅助设计(CAD)在光学薄膜设计和生产中的应用, 并给出了几个典型设计实例。利用CAD 评价光学薄膜厚度的允差和设计在镀膜过程中的膜层厚度监控规律, 以及简化镀膜工艺, 大大提高了镀膜效率, 给人们带来极大的效益。

关键词: 计算机辅助设计; 光学薄膜

1 CAD 在光学薄膜设计中的应用

电磁波理论为光学薄膜的理论设计早已奠定了良好的基础, 而计算机辅助设计(CAD)为光学薄膜的设计提供了重要的方便条件, 现代光学薄膜的理论设计和制造已经与CAD 建立了密不可分的关系。

光学薄膜的每一层膜的特性均可用一个特征矩阵来描述, n 层膜即可用下述矩阵方程描述:

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \prod_{r=1}^n \begin{bmatrix} \cos \delta_r & (i \sin \delta_r) / \eta_r \\ i \eta_r \sin \delta_r & \cos \delta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_{r+1} \end{bmatrix}$$

式中 $\delta_r = \frac{2N_r d_r \cos \theta}{\lambda}$ (即为第 r 层膜相位厚度) N_r 与 d_r 为第 r 层膜的折射率与几何厚度, θ

为光线在此层膜的入射角度; η_{r+1} 为基底的光纳, η_r 为第 r 层膜光纳。膜系光纳 $Y = \frac{C}{B}$, 膜系的

反射率为 R , $R = \left| \frac{1-Y}{1+Y} \right|^2$ 。

若需要几十层至百层膜的设计, 其计算量是很大的, 有了CAD 即用几十秒的时间即可得到所要求的数据; 又如, 为了满足用户的需要, 有时必须进行非规整膜系设计, 在 45° 棱镜的斜面上需要设计镀制如下膜系:

$$G2.2H2.2L2.2H2.2L2.2H2.2L2.2H2.2L2HL2HL1.06H1.16L1.16HG \quad (1)$$

其中 $n_H = 2.35$, $n_L = 1.35$, $\lambda_0 = 0.5 \mu$

其设计结果如图 1 所示, 利用 CAD 和优化方法迅速得到了如方程(1)所示的膜系, 并且已成熟地应用在工程中, 满足了如下所述要求:

- 1 在 $0.45\text{--}0.7\ \mu$ 范围内半透半反, 即 $T = R = 50\% \pm 5\%$
- 2 同时在 $0.8\ \mu$ 处, 反射率 $80\% \pm 3\%$ 这只是列举的一个典型例子。

对于更复杂的非线性薄膜的设计更体现出 CAD 的优越性。在具有一定激光功率的激光作用下, 具有非线性薄膜(例如 ZnS)的折射率比常态情况下有所增加, 而另一种交替的低折射率膜层(例如冰晶石)折射率不变化。由这两种膜料构成的法卜利—白洛干涉滤光片在激光作用下是如何随着激光光束在此滤光片上的入射角度、激光输入功率的不同产生光双稳的特性, 以及膜系构成[例如 $G(HL)^n(HH)^m(LH)^nA$]及膜层的非线性等因素的影响, 由 CAD 已迅速给出了结果^[3], 并且符合实验结果。法卜利—白洛干涉滤光片的光双稳特性的典型计算如图 2 所示。

所以利用 CAD 是快速而经济的方法, 并且设计的结果容易准确地达到要求。

2 CAD 在光学薄膜制备工艺中的应用实例

为了准确地实现所设计的膜系, 薄膜的制备工艺很重要。后截止膜系, $G(\frac{L}{2}H\frac{L}{2})^mA$ 应用较广泛, 特别是它作为长波旁通带的截除时, 不仅要求截止深度而且还要考虑透射带内透射率要高, 波纹要小, 除此之外, 膜系的第一层低折射率的膜层镀在 K9 玻璃比较片上也是很很不方便的, 不易准确, 除非镀予镀层(其增加了工作量), 为此, 我们利用 CAD 设计出另一个后截止膜系:

$$G(hL)^2h(LH)^mL/2A \quad (2)$$

式中 m 为偶数层, $n_h = 1.67$, $n_L = 1.46$, $n_H = 2.1$, 其光谱设计特性如图 3 所示, 并且给出其中 h 层折射率变化范围为 $1.59\text{--}1.67$ 时, 通带内波纹都较平坦。这样, 后截止膜系(2)不需镀予镀片即可在 K9 玻璃上直接监控成四分之一波长光学厚度, 简化工艺, 提高了工作效率, 且保证了质量。

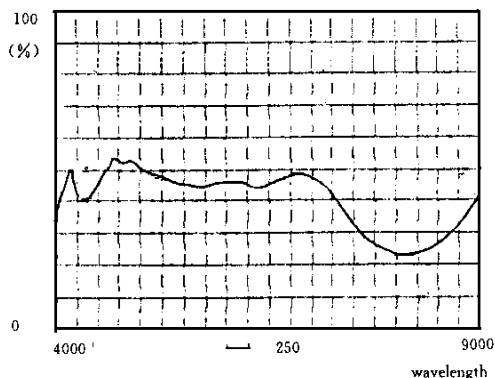


Fig 1 Spectral characteristics for theoretical design (incident angle of 45°) film stack as shown in formula (1)

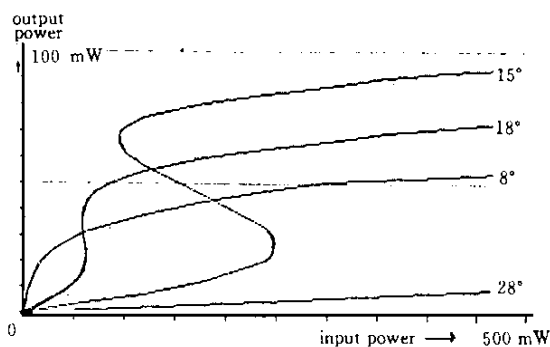


Fig 2 Typical computerized calculation of optical bistability for a Fabry-Perot interference filter of stack type $G(HL)^n(HH)^m(LH)^nA$ under different incident angles ($0^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ and 20°)

在实验和生产中, 我们得到很多如图 3 所示的结果, 满足了各项任务的需要, 为了突出本论文的主题, 不在此多述。

利用 CAD, 我们及时评价了在实际镀制过程中不可预料的膜厚误差对整个膜系的影响, 同时找出及进时正的措施。在镀膜前, 利用 CAD 可评价出所镀膜层的误差^[2], 无论哪一类膜层都可做到误差的评价, 给生产带来极大的效益。利用 CAD 可以在镀前预报膜厚的监控规律, 避免工艺上选择错误的途径。

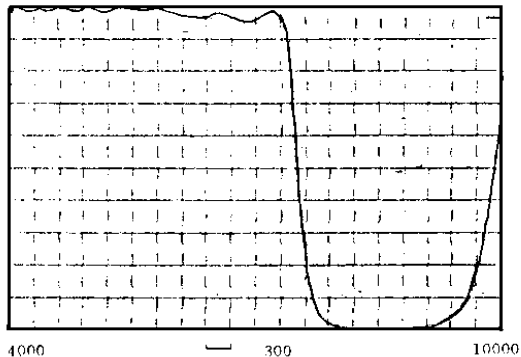


Fig 3 New stack characteristics of shortwave-pass filter for theoretical design film stack as shown in (2)

参 考 文 献

- [1] H. A. Macleod, Thin-film Optical Filters (second edition). America, Adam Hilger Ltd Bristol, 1986, 1- 9
- [2] Shumei Yang, Circular, Variable, Broad-bandpass Filters with Induced Transmission at 200- 1100 nm. America, Applied Optics 1993, 32(25): 4836- 4842
- [3] Shumei Yang etc, Research on ZnS Non-linear Thin Films and Bistable Filters Netherland, Materials Science and Engineering, B9, 1991: 501- 504

Application of CAD in Design and Manufacture for Optical thin Films

Yang Shumei

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

The paper introduced applications of computer assisted design (CAD) in a design and manufacture for optical thin films and gives a few of typical design examples. Allowance differences of optical-thin-film thickness are calculated by CAD; film thickness programme controlled in coating process is also designed by CAD; as well as a typical instance for a coating process simplified is given, which enhance a coating efficiency and bring some benefits to the people.

Key words: CAD, Optical thin films

杨树梅 女, 1963年毕业于长春光机学院物理系技术物理专业。毕业后一直从事光学薄膜的研究、试制与生产工作。曾获得中科院科技进步奖五项, 园形波长可变滤光片、非线性薄膜及其光双稳器件、两种棱镜特殊分束膜、特定函数—大角度中性变密度盘和三色指数测定仪。曾出席国际学术会议, 访问德国, 并以光学薄膜专家身份去叙利亚工作二年多。发表有关论文 20 余篇。