

国外信息科学与技术优秀图书系列

光学和光电子学

薄膜光学 (第4版)

Thin-Film Optical Filters (Fourth Edition)

〔美〕 H. Angus Macleod 著

徐德刚 贾东方 王与烨 钟 凯 译

王占山 张锦龙 审 校



科学出版社

国外信息科学与技术优秀图书系列

薄膜光学

(第4版)

Thin-Film Optical Filters
(Fourth Edition)

[美] H. Angus Macleod

徐德刚 贾东方 王与烨 钟

王占山 张锦龙 审校



科学出版社

北京

图字:01-2011-8197 号

内 容 简 介

本书是薄膜光学方面的一本经典著作,全书共 17 章,系统地介绍了薄膜光学的基本理论、各种薄膜光学器件的设计和应用以及薄膜光学器件的技术基础,具体内容包括:薄膜光学的基本理论和设计方法、减反射膜、中性反射镜和分光镜、多层高反射膜、截止滤光片、带通滤光片、倾斜入射薄膜、薄膜材料、镀膜技术、影响薄膜性能的因素、膜厚均匀性与厚度监控、滤光片规格与环境影响、滤光片和薄膜的应用。全书内容翔实,概念清楚,层次分明,实用性强,而且紧密结合了薄膜光学领域的新问题和新成果。

本书既可作为物理学、化学、工程材料、光电信息技术等专业或领域的高年级本科生、研究生的教材,也可供从事薄膜光学和镀膜技术的科研人员、工程技术人员参考学习。

Thin-Film Optical Filters(Fourth Edition) H. Angus Macleod

© 2010 by Taylor and Francis Group, LLC

All Rights Reserved.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business.

本书封面贴有 Taylor & Francis 集团防伪标签,未贴防伪标签属未获授权的非法行为。

图书在版编目(CIP)数据

薄膜光学:第4版/(美)麦克劳德(Macleod, H. A.)著;徐德刚等译.

—北京:科学出版社,2016.3

(国外信息科学与技术优秀图书系列)

书名原文:Thin-Film Optical Filters(Fourth Edition)

ISBN 978-7-03-047392-9

I. ①薄… II. ①麦… ②徐… III. ①薄膜光学 IV. ①O484.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 033258 号

责任编辑:余 丁 闫 悦/责任校对:郭瑞芝

责任印制:张 倩/封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016 年 3 月第一次印刷 印张:36 1/2

字数:808 000

定价:178.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

自 20 世纪 30 年代以来,现代薄膜光学技术的发展突飞猛进,极大地促进了现代光学仪器性能的提高。另一方面,随着激光技术、光电子技术、光通信技术等的发展,薄膜光学器件也进入了全面发展的阶段。目前薄膜光学器件已经广泛应用到光学与光学工程领域,如光通信技术、激光技术、光刻技术、航空航天技术,可以说:没有薄膜光学技术的发展,就没有现代光学仪器和测控技术的发展。

随着科学技术的进步,薄膜光学技术无论是从广度还是深度都得到了显著发展,涉及几乎所有前沿学科和新兴学科。目前,关于薄膜光学技术的书籍较多,但这些书籍绝大部分偏重理论,实用性强的技术书籍还比较缺乏。国际著名薄膜光学专家麦克劳德(H. Angus Macleod)先生的 *Thin-Film Optical Filters* 一书是国际上非常有影响的关于薄膜光学器件的权威著作,自 20 世纪 60 年代以来历经四版,其内容不断更新,每一版都反映了薄膜光学技术发展的一个新阶段。本书没有对薄膜光学的原理进行全面阐述,而是针对典型的薄膜光学器件的设计、制作、性能及应用进行了详述,并编入了必要的薄膜光学的理论基础,以便读者进行薄膜光学器件膜系的设计计算。本书实用性强,论述深入浅出,图文并茂,书中还列出了一系列薄膜光学材料的特性,方便读者查阅。

本书的翻译团队是长期工作在激光和光电子领域的一线科研人员,具有丰富的薄膜光学器件的实践经验,对薄膜光学器件的性能和特性具有很深的理解,完全胜任本书的翻译工作。本书的审校工作由同济大学多年从事薄膜光学研究的王占山教授和张锦龙副教授担任,保证了本书的专业性和系统性。相信本书的出版必将推动我国薄膜光学技术的发展。

本书原书名 *Thin-Film Optical Filters*,直译为《光学薄膜滤光片》,考虑本书几乎涵盖了薄膜光学的全部内容,再经与麦克劳德先生讨论,决定将中译本的书名改为《薄膜光学》。同时,麦克劳德先生欣然答应专门为中译本撰写序言,在此对麦克劳德先生的大力支持和帮助表示衷心感谢。

中国科学院院士

姚建铨

2015 年 8 月

译者序

随着科学技术的发展,作为现代光学重要分支之一的薄膜光学有了很大的进展,特别是随着光通信技术、激光技术等的发展,薄膜光学也得到了迅猛发展。目前,薄膜光学器件的应用领域日益广泛,涉及通信、国防、计算机、航天、汽车等领域。

本书作者是国际享誉盛名的薄膜光学技术专家、美国亚利桑那大学的安格斯·麦克劳德教授。本书特色之处在于将薄膜光学器件的设计、制作、性能及应用做了科学的归纳和剖析,根据导纳图和矢量方法讨论了薄膜光学的基本原理和技术,详细阐述了各种光学薄膜的设计,如减反射膜、高反射膜、截止滤光片、带通滤光片等光学器件,并给出了薄膜光学器件在激光、天文和大气温度探测等方面应用的一些例子。与第三版相比,本版中还添加了一些新的薄膜光学技术内容,如光学薄膜色度学以及光学薄膜的增益等。

本书主要包括:薄膜光学的基本理论和设计方法、减反射膜、中性反射镜和分光镜、多层高反射膜、截止滤光片、带通滤光片、倾斜入射薄膜、光学薄膜色度学、镀膜工艺及薄膜材料、影响薄膜性能的因素、膜厚均匀性与厚度监控、滤光片规格与环境影响、光学薄膜的应用等。

本书的翻译工作是在天津大学激光与光电子研究所的同仁们参与下完成的,具体分工如下:贾东方译第1~6章和术语;钟凯译第7~8章和12章;徐德刚译第9~11章和第17章;王与烨译第13~16章;徐德刚、贾东方负责全书统稿。同济大学王占山教授、张锦龙副教授和中国科学院姚建铨院士对全书的翻译文稿进行了审校。

由于译者学识水平所限,疏漏乃至错误在所难免,恳请广大读者及专家不吝赐教,提出修改意见,我们将不胜感激。

译者

2015年8月

中译本序

在 20 世纪 60 年代光学快速发展初期,我非常幸运地开始了薄膜光学的研究生涯。几乎任何光学系统都需要光学薄膜,因此,薄膜光学一直伴随着光学的发展而快速发展。本书的第一版是 1969 年出版的,是在亚当·希尔格出版公司(第一版的出版公司)的内维尔·古德曼邀请且给予了持续支持和鼓励下完成的,我对他一直心怀感激。

自 20 世纪 60 年代以来,薄膜光学领域变化巨大。开始时,镀膜工艺过程几乎全是热蒸发,控制膜层厚度最精确的方法是靠受过严格训练的工作人员首先读取并解释图表记录仪上的数据,然后在正确的时刻手动停止镀膜过程。计算机具有强大的功能,并可按照约定(有时可以提前几天)完成相应的程序。光学薄膜设计通常是在设计经验和一些标准膜系特性计算技巧指导下,依据实际镀膜设备的性能调整一些简单已知结构完成的。目前,可供选择的镀膜方式很多,同时这些镀膜设备都包含自动控制系统,另外,我们还容易拥有功能强大的计算机系统。

人们可能猜想薄膜光学的巨大进步会减小薄膜光学工作者对设计技巧和制作经验的需求,事实上这样的需求一直在增加,这也正是本书的主要目的。在本书第一版序言中,我说这本书是为我自己写的,我尽最大努力将其写成这样的书,是我第一次进入薄膜光学领域时希望读到的书。事实证明这与许多读者的需求完美地结合在一起,因此,我在几个版本中都保留了这一风格。我非常高兴得知本书被译成中文,衷心感谢翻译团队完成了如此艰巨的任务。多年来,我从中国朋友和同行那里学习到了很多,希望通过本书这种微小的方式能够反馈给他们一些。

安格斯·麦克劳德

2015 年 11 月 20 日

第四版前言

从某种程度上说,写书的第一版是非常容易的,或许我应该说,写第一版比准备后续版本的困难要少。在第四版面世前,读者对本书的内容和特点有着强烈的期待。因此,作者在某种程度上必须在增加最新内容的同时,保持原书的风格。斟酌添加和省略的内容是非常困难的事情。现代光学薄膜设计实质上完全通过计算机,通常运用优化技术来实现。然而,计算机不能消除读者对光学薄膜设计基本原理知识的需求。我想,这些需求也是读者对本书的期待。而且,我也意识到,读者虽然有可能喜新厌旧,但是也希望在新版本中能够找到旧版本中的重要知识点。因此,我决定在新版本中保留了早期光学薄膜设计的大部分阐述,因为这些内容对于我们理解光学薄膜的设计是非常重要的。尽管有些应用和阐述的内容相当陈旧,但是它们的确解释了光学薄膜是怎样与系统密不可分的,因此我保留了这部分内容。在整部书中,我涵盖了尽量多的光学薄膜新内容,增加了关于色度的一章内容,这部分内容在光学薄膜技术中越来越重要,尽管光学薄膜色度学主要是学术兴趣问题,但不能忽视它在光学薄膜中的影响,这是一个引人入胜的课题。对软 X 射线薄膜领域我非常纠结,遗憾的是,本版本没有包含这部分内容。这是一个老的综合设计问题:我们不得不在某些地方停一下。

非常感谢朋友们和同事们的全力帮助,除了宝贵的建议和忠告,还包括(我必须承认)修改意见。光学薄膜技术领域对我钟爱有加,非常感谢国际光学薄膜大家庭对我的无私支持和友好帮助,没有谁能比他们更心胸开阔了。这是一个科学无国界的好例子。

感谢所有的人:读者、出版者、朋友、同事、家庭、特别是我的妻子安妮。

H. Angus Macleod

符号和缩写

以下列表给出了本书中用到的重要符号。书中尽量保持符号的一致性,但保留了几个众所周知的常用符号,它们在本领域中得到广泛使用,改变这些符号会带来很大的混淆。这就意味着在一些情况下,相同的符号在不同的位置可能表示不同的物理量。希望以下列表能够将符号表达清晰,一些不重要的符号以及仅仅在小篇幅被定义和使用的符号未列出。

A	吸收率,介质吸收功率与入射功率的比值。
$\mathcal{A}$	可能吸收率,在膜层吸收计算时使用的物理量,它等于 $1 - \psi$,其中 ψ 是可能透射率。
B	界面处(通常指膜层的前界面)归一化的总切向电场强度,它在第 2 章中开始还短暂表示过磁感应强度。
C	界面处(通常指膜层的前界面)归一化的总切向磁场强度。
d_q	薄膜第 q 层的物理厚度。
E	电磁场中的电场强度矢量。
$\mathcal{E}$	总的切向电场强度振幅,即平行于薄膜边界方向的电场强度。
$\mathcal{E}$	电场强度振幅。
E	周期对称膜层的等效导纳。
F	用在法布里-珀罗干涉仪理论中的函数。
$\mathcal{F}$	精细度,法布里-珀罗干涉仪中相邻干涉峰值间距和干涉峰半高宽的比值。
g	$g = \frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{\nu_0}{\nu}$,有时称为相对波长,或者是相对波数,或者是波长比。 λ_0 和 ν_0 分别是参考波长和参考波数。光学薄膜膜层的光学厚度是根据一定的参数定义的,这些参数对于设计光学薄膜非常重要,通常尽可能接近四分之一波长。
H	电磁场中的磁场强度矢量。
$\mathcal{H}$	总的切向磁场强度振幅,即平行于薄膜边界方向的磁场强度。
$\mathcal{H}$	磁场强度振幅。
H	代表高折射率介质四分之一波长厚薄层的简化符号。
I	光波的辐照度,即单位面积上的功率。遗憾的是,SI 中辐照度用 E 表示,但用 E 表示会在辐照度和电场强度中引起歧义;更加严重的是, I 在 SI 中表示强度(表示点光源在单位立体角内发射功率的大小)。这两个遗憾导致老的强度定义和当前的辐照度定义一样。
k	消光系数,消光系数表明了光学吸收的存在。用复折射率 N 表示为 $N = n - ik$ 。
L	代表低折射率介质四分之一波长厚薄层的简化符号。

- M 代表中间折射率介质四分之一波长厚薄层的简化符号,也常用于表示矩阵元素,或者表示矩阵元素的数组。
- N 表示复折射率 $n - ik$ 。
- n 折射率,有时也表示复折射率的实部。
- n^* 窄带滤光片的有效折射率,表示当入射光倾斜入射时,窄带滤光片的透射峰值能够与相同波长垂直入射时窄带滤光片的透射峰值一致的等效膜的折射率。
- p 填充密度,表示薄膜固体体积与总体积的比值。
- p p 偏振,表示平行于入射面的电场强度矢量,有时也表示横向磁场 TM。
- R 反射率,表示在光学器件边界处反射光和入射光辐照度的比值,或者是总反射光功率和总入射光功率的比值。
- s s 偏振,表示垂直于入射面的电场强度矢量,有时也表示横向电场 TE。
- T 透射率,表示在光学器件边界处透射光和入射光辐照度的比值,或者是总透射光功率和总入射光功率的比值。
- TE 见 s 偏振。
- TM 见 p 偏振。
- x, y, z 坐标轴。在薄膜或物体表面,通常选择 z 轴从正向进入入射面, x 轴通常选在入射面内, x, y, z 轴满足右手定则。
- $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ 定义 CIE1931 标准色度观察者的三色匹配函数。
- X, Y, Z 三色刺激值,它们是对某种颜色感觉的三种原色的刺激程度之量的表示。
- x, y, z 色度坐标, $X/(X+Y+Z)$, $Y/(X+Y+Z)$, $Z/(X+Y+Z)$, 通常 z 可以略去,因为通过归一化分量使三个值的总和恒等于 1。
- $X + iZ$ 复表面光学导纳。
- y 材料的特征光学导纳,在 SI 中(单位是西门子)用 $N\mathcal{Y}$ 表示,等于 $(n - ik)\mathcal{Y}$;在自由空间光学导纳单位中用 $\mathcal{Y}$ 表示,等于 N 或 $n - ik$ 。
- Y 表面光学导纳,指的是在平行于光学薄膜边界的表面上,磁场切向分量与电场切向分量的比值, $Y = C/B$ 。
- $\mathcal{Y}$ 自由空间光学导纳 ($2.6544 \times 10^{-3} \text{ S}$)。
- y_0 入射介质的特征光学导纳。
- y_m 或 y_{sub} 出射介质或基底的特征光学导纳。
- α 吸收系数,等于 $4\pi k/\lambda$, 单位为 cm^{-1} 。
- α, β, γ 三个方向余弦,也就是光波波矢方向与三个坐标轴夹角的余弦值。
- β 通常替代金属薄膜的 $2\pi kd/\lambda$ 的符号。
- γ 对称光学膜层的等效相位厚度。
- Δ 相对相位延迟,在通常光学薄膜符号的约定中,反射时相对相位延迟等于 $\varphi_p - \varphi_s \pm 180^\circ$,透射时相对相位延迟等于 $\varphi_p - \varphi_s$ 。
- Δ 等于 η_p/η_s , 其中 η 是修正的倾斜光学导纳,常用于无偏振膜系设计。

δ	膜层的相位厚度,用 $2\pi(n-ik)d/\lambda$ 表示。
ε	表示容差讨论中的小误差。
ε	介质的介电常数。
η	倾斜光学导纳。
ϑ	入射角。
κ	有时称为波数, $\kappa = 2\pi(n-ik)/\lambda$, 其中 λ 是自由空间的波长。应该注意波数这个术语在使用中容易混淆,因为有时也用 ν 表示波数。
λ	光波长,在本书中,除了第2章的开头部分,该符号一直表示自由空间中的波长。
λ_0	参考波长。在光学镀膜中,薄膜的光学厚度是用参考波长来定义的,通常选择重要膜层的厚度尽可能接近参考波长的四分之一。
ν	波数。 $\nu = 1/\lambda$, 单位经常采用 cm^{-1} (有时候称为凯塞,严格地说 SI 单位应该是 m^{-1})。
ν_0	参考波数,等于 $1/\lambda_0$ 。
μ	磁导率,用在第2章的前半部分中。
ρ	振幅反射系数,在早期版本的第2章中还用来表示电荷密度。
τ	振幅透射系数。
φ	相位差,常用在反射和透射中。
ψ	可能透射率,等于 $T/(1-R)$ 或者是两个不同界面 $\text{Re}(BC^*)$ 的比值。它代表从光学薄膜系统中出射的光功率与入射的光功率的比值,无吸收系统的可能透射率等于1。

目 录

序	
译者序	
中译本序	
第四版前言	
符号和缩写	
第1章 引言	1
1.1 早期的历史	1
1.2 光学薄膜	4
参考文献	7
第2章 基本理论	9
2.1 麦克斯韦方程和平面电磁波	9
2.1.1 坡印亭矢量	13
2.2 简单边界	14
2.2.1 垂直入射	15
2.2.2 倾斜入射	17
2.2.3 倾斜入射的光学导纳	20
2.2.4 吸收介质中的垂直入射	22
2.2.5 吸收介质中的倾斜入射	26
2.3 单层薄膜的反射率	28
2.4 多层膜系的反射率	30
2.5 反射率、透射率和吸收率	32
2.6 单位	35
2.7 重要结果总结	35
2.8 可能透射率	38
2.9 膜系透射率定理	40
2.10 相干性	41
2.11 两个或多个表面的非相干反射	45
参考文献	48
第3章 光学薄膜计算与设计的一些方法	49
3.1 $\lambda/4$ 和 $\lambda/2$ 光学厚度	49
3.2 导纳轨迹	50

3.3	导纳图中的电场和损耗	54
3.4	矢量法	59
3.5	赫平折射率	61
3.6	膜系计算的迭代方法	61
3.7	多层膜设计的史密斯方法	63
3.8	史密斯圆图	65
3.9	反射率圆图	67
	参考文献	71
第4章	减反射膜	72
4.1	高折射率基底上的减反射膜	72
4.1.1	单层减反射膜	73
4.1.2	双层减反射膜	77
4.1.3	多层膜	84
4.2	低折射率基底上的减反射膜	91
4.2.1	单层减反射膜	91
4.2.2	双层减反射膜	91
4.2.3	多层减反射膜	99
4.3	等效膜层	112
4.4	具有两个零点的减反射膜	121
4.5	可见光及红外区的减反射膜	124
4.6	非均匀层	129
4.7	更多信息	132
	参考文献	132
第5章	中性反射镜和分光镜	134
5.1	高反射薄膜	134
5.1.1	金属膜反射镜	134
5.1.2	金属膜的保护	135
5.1.3	总系统性能与增加金属膜反射率	139
5.1.4	紫外反射膜	142
5.2	中性分光镜	143
5.2.1	金属膜分光镜	144
5.2.2	介质膜分光镜	146
5.3	中性滤光片	149
	参考文献	150
第6章	多层高反射膜	152
6.1	法布里-珀罗干涉仪	152

6.2 多层介质膜	157
6.2.1 宽高反射区的多层全介质膜	163
6.2.2 薄膜均匀性的要求	168
6.3 损耗	170
参考文献	174
第7章 截止滤光片	176
7.1 薄膜型吸收滤光片	176
7.2 干涉截止滤光片	177
7.2.1 $\lambda/4$ 多层膜	177
7.2.2 对称多层膜和赫平折射率	178
7.2.3 性能计算	187
参考文献	217
第8章 带通滤光片	219
8.1 宽带滤光片	219
8.2 窄带滤光片	221
8.2.1 金属-介质单腔滤光片	221
8.2.2 全介质单腔滤光片	227
8.2.3 固体标准具滤光片	239
8.2.4 入射角变化的影响	242
8.2.5 边带阻隔	251
8.3 多腔滤光片	251
8.3.1 Thelen 分析法	256
8.4 多腔滤光片更高的性能	261
8.4.1 倾斜的影响	267
8.4.2 多腔滤光片的损耗	270
8.4.3 补充材料	271
8.5 相位色散滤光片	272
8.6 多腔金属-介质滤光片	277
8.6.1 诱导透射滤光片	279
8.6.2 滤光片设计实例	283
8.7 滤光片的实测性能	291
参考文献	293
第9章 倾斜入射薄膜	296
9.1 修正导纳和倾斜导纳图	296
9.2 导纳图的应用	301
9.3 偏振器	312

9.3.1	布儒斯特角偏振分束器	312
9.3.2	偏振片	315
9.3.3	偏振分光棱镜	315
9.4	无偏振薄膜	316
9.4.1	中等入射角的截止滤光片	316
9.4.2	大入射角时的反射膜	320
9.4.3	大入射角时的截止滤光片	323
9.5	减反射膜	324
9.5.1	仅 p 偏振的情形	325
9.5.2	仅 s 偏振的情形	325
9.5.3	s 偏振和 p 偏振同时存在的情形	326
9.6	相位延迟器	328
9.6.1	椭圆偏光参数和相对相位延迟	328
9.6.2	多个表面镀膜的椭圆偏光参数和相对相位延迟	329
9.6.3	相位延迟器	329
9.6.4	简单的相位延迟器	330
9.6.5	单波长多层膜相位延迟器	334
9.6.6	多波长多层膜相位延迟器	337
9.7	光学隧穿滤光片	341
	参考文献	342
第 10 章	光学薄膜色度学	345
10.1	颜色的定义	345
10.2	1964 补充标准色度观察者	350
10.3	同色异谱	351
10.4	其他颜色空间	351
10.5	色调和色度	352
10.6	亮度和最佳刺激	353
10.7	彩色条纹	355
	参考文献	356
第 11 章	镀膜工艺及薄膜材料	357
11.1	薄膜的镀制	357
11.1.1	热蒸发	358
11.1.2	高能沉积过程	364
11.1.3	其他沉积过程	370
11.1.4	烘烤	373
11.2	光学性质的测量	375

11.3 机械特性的测量	389
11.4 毒性	395
11.5 常见材料的特性	396
参考文献	403
第12章 影响薄膜性能的因素	410
12.1 微观结构和薄膜的性能	410
12.2 对污染物的敏感度	419
参考文献	425
第13章 膜厚均匀性与厚度监控	428
13.1 均匀性	428
13.1.1 平面夹具	429
13.1.2 球面夹具	430
13.1.3 旋转基底	430
13.1.4 掩膜的用途	433
13.2 基底准备	434
13.3 膜层厚度监控和控制	435
13.3.1 光学监控技术	436
13.3.2 石英晶体监控	443
13.3.3 通过沉积时间监控	445
13.4 厚度容差	445
参考文献	456
第14章 滤光片规格与环境影响	459
14.1 光学特性	459
14.1.1 性能指标	459
14.1.2 制作指标	461
14.1.3 测试指标	461
14.2 物理性质	463
14.2.1 耐磨性	464
14.2.2 黏附性	466
14.2.3 耐环境性	466
参考文献	467
第15章 系统考虑:滤光片和薄膜的应用	468
15.1 干涉滤光片的能量获取	470
15.2 天文学中的窄带滤光片	474
15.3 大气温度检测	479

15.4	光栅光谱仪中的级次选择滤光片	485
15.5	眩光抑制滤光片和镀膜	492
15.6	包含金属层的薄膜	496
15.6.1	用于肖特基势垒光电二极管的电极薄膜	496
15.6.2	用于太阳能光热转换的光谱选择薄膜	498
15.6.3	热反射金属-介质膜	501
参考文献		503
第 16 章	其他主题	505
16.1	皱褶滤光片	505
16.2	超快薄膜	513
16.3	自动设计方法	522
16.4	光学薄膜中的增益	529
16.4.1	倾斜入射	532
16.5	光子晶体	535
16.5.1	什么是光子晶体	535
16.5.2	二维光子晶体	536
16.5.3	一维光子晶体	536
参考文献		540
第 17 章	介质薄膜材料的特性	542
参考文献		546
参考书目		550
中英文对照表		552

第1章 引言

本书是为光学薄膜的制造者与使用者撰写的入门著作,其宗旨不是阐述薄膜光学的全部细节问题,而是只作为触及薄膜光学原理的本领域已有著作的一个补充。出于完整性的考虑,本书重复了教科书中的一些必要信息,并向读者展示了更丰富的信息资源。本书主要内容包括光学薄膜的设计、制造、性能及应用,并编入了薄膜光学必要的数学基础,以便读者进行薄膜的计算。本书尽可能给出统一的处理方法,而其他一些分析方法在书中不予讨论。

1968—1969年,本书首次面世,当时只有几本书涵盖了相关研究内容。现在,情况已经有了变化,一批相关书籍先后面世,本章的参考文献中列出了其中的一些。但在今天,一本著作的“半衰期”是如此之短,知识实际上是“消失”了。其实,追溯早期的一些著作是很有价值的,至今我们仍可以从 Heavens^[1]、Holland^[2]、Anders^[3]和 Knittl^[4]等人的著作中汲取有用的知识。

本书不可能容纳全部薄膜光学器件的内容,而只能详述其中的一些类型。因此,对书中内容做适当取舍是必要的,这主要取决于作者的喜好和知识。光学薄膜的含义已经相当广泛,包括减反射膜和高反射膜等。

1.1 早期的历史

历史通常可能比较复杂,它是通过历史学家讲给我们的。由于文化的差异,历史学家试图以听众能够理解的方式解释历史,而我们也只能获取历史不完整的一角,知识的历史也不例外。为简化叙述,我们通常拾取一定的事件和个体,并将它们相互关联起来。但是,知识是在一个非常宽的领域上发展起来的,这有点像潮汐的出现。知识依赖于研究成果的网络化,如果一个个体没有取得必需的进展,另外一个个体也会取得进展。知识接受了在那个时候它所需要的进展,同时忽略了它不需要的那种进展,如此反复。我们发现,特定个体的发明实际上是他人预见的,只是时间有出入,或者没有注意到它们。以下对本学科历史的简短说明,就属于这种情况。真实的说明超出了我们能力所及,因此我们拾取几个事件和个体,并将它们联系起来。当然,还有许多其他路径直通历史,这取决于作者的喜好和知识所限。

人们很早就知道金属薄层,但如果考虑作为现代薄膜光学的萌芽的干涉现象,那么最早的可称为现代薄膜光学的研究工作是由波义耳和虎克完成的,他们对薄膜材料呈现的颜色进行了研究。牛顿利用这些颜色来测量薄膜的厚度,这就是所谓的“牛顿环”现象^[5]。这种现象的解释在今天被认为是极其简单的:它仅仅是由于光在厚度变化的单层薄膜内的干涉所致。但是,因为在那个时代关于光的本性的理论远远落后于客观实际,所以这种现象和同一时期牛顿对薄膜所做的一系列类似的观察结果,过了约一百年以后才为科学家们所接受。1801年11