

用于辐射分离的
光学滤光片

〔法〕M. 弗朗松 著



科学出版社

53.75
160

用于辐射分离的 光学滤光片

〔法〕M. 弗朗松 著

徐森祿 译

周衍勳 校

科学出版社

1986

内 容 简 介

光学滤光片在科学技术各领域中具有重要作用，它广泛应用于照相、电影、电视、比色计、显微镜、激光、光通信、生物学、天文学等方面。

全书共分八章，关于光源辐射的引言，滤光片的性质，由化合物组成的选择吸收滤光片，应用色散的滤光片，多光束干涉滤光片，双折射滤光片，应用在偏振光下的各种现象的滤光片，偏振滤光片的若干应用。

本书可供照相、电影、电视、激光、光通信、各种光学仪器专业、生物学、天文学等方面的科技工作者、大专院校师生，以及非物理专业的广大读者阅读。

M. Françon

SÉPARATION DES RADIATIONS

PAR LES

FILTRES OPTIQUES

MASSON, 1984

用于辐射分离的 光 学 滤 光 片

〔法〕M. 弗朗松 著

徐森禄 译

周衍勋 校

责任编辑 陈德义

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行，各地新华书店经售

1986年9月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1986年9月第一次印刷 印张：4

印数：0001—2,000 字数：84,000

统一书号：15031·744

本社书号：4937·15-4

定价：0.96元

Preface

C'est un grand honneur pour moi que ce livre soit traduit en chinois par les professeurs Zhou et Xu. Les filtres optiques ont été l'un des sujets des conférences données en Chine pendant les mois de septembre et d'octobre 1984. J'espère que ce livre intéressera les étudiants et les chercheurs qui veulent développer les filtres monochromatiques et particulièrement les filtres biréfringents. J'espère aussi qu'il contribuera à l'amitié de nos deux pays.

西文

Xian septembre
1984

M. François

中文版序

本书能由周教授和徐教授译成中文我感到莫大的荣幸。《光学滤光片》也是我于1984年9月—10月在中国所作的讲学中的一个题目。我希望本书将对大学生和研究工作者在研究单色滤光片和尤其在双折射滤光片方面都有所裨益。同时我也希望它将对增进中法两国友谊作出贡献。

M. 弗朗松

1984年9月于西安

译 者 的 话

法国巴黎第六大学弗朗松教授 (M. Françon) 是世界知名的光学专家和中国光学界的老朋友。他既有丰富的教学和研究的经验, 又在显微镜、晶体光学、全息术、激光散斑和双折射滤光片等方面都有很多的研究成果和很深的造诣。近两年来, 他在百忙中归纳总结了一百一十年来 (1874—1982) 在用于扩展光源的滤光系统方面的所有类型、系统和特性, 尤其阐述了近几年来在激光和光通信上的新用途和滤光系统的新发展。本书写得简明扼要、概念清晰, 对大学生和有关应用滤光系统的科技工作者都是一本很好的学习和参考书, 它还是一本很有用的工具书。读完这本书既可了解到用来分离辐射的滤光片的过去、现在和展望未来, 又能借助书末所附的参考文献, 进一步深入探讨。

弗朗松教授怀着对中国人民极其友好的感情, 对本书在翻译过程中所遇到的所有疑点都一一作了指导, 他在1984年9月—10月第二次在中国讲学之际, 又为本书的中文版写了序言, 我和周衍勋教授深深为之感动, 我们仅在此对弗朗松教授表示衷心的感谢。

原书为法文版, 中文译稿经过了陕西师范大学物理系周衍勋教授校订; 外交学院法语教研室夏春丽老师又对译文作了语法、词义校订和文字修饰。对此表示深切谢意。由于译者水平有限, 书中肯定会有错误和不妥之处, 敬请读者指正。

浙江大学光学仪器系 徐森祿

1984年10月

前 言

光学滤光片始终在各个科学技术领域中起着重要作用。从广泛的应用实例中,仅引数例即可看出它们经常用于照相、电影、电视、比色计、显微镜、生物学和天文学方面。最近,特别在激光和光通信上又有新的用途。这便促使我们有志在这小本专著中阐述可见光谱和近紫外、近红外光谱区滤光片的一些主要类型,但因只限于介绍作为观察扩展物体用的滤光片,所以单色仪不属本书讨论范围。

书中引进的插图,旨在表征滤光片的特性,即透射或反射与波长间的函数关系。这样读者今后就能自行判断哪些滤光片具有哪些优点以及在自己的课题中需要什么样的滤光片。

我们的目的不是编写一套索引。因此,为不使读者在许多的光谱曲线中迷失方向,就对图表的数量加以限制。

继光源辐射的引言和滤光片的一般性质之后,我们分别讨论由化学成分组成吸收滤光片的原理,基于色散现象的滤光片,多光束干涉滤光片,双折射滤光片。最后叙述用于光通信方面具有高度选择性的滤光片。

读者可能因未发现关于减反膜*的章节而感到惊奇。我们认为它已超越本书所选定的范围。实际上,减反膜的目的不是作光的滤光,而是在尽可能宽的光谱范围内最大限度地减少光的反射损失。

最后,我们希望有关光学滤光片的论述,至少在这部专著中所涉及的大部分内容,对非物理工作者而言也是一本通俗易懂的读物。

M. 弗朗松

1983 年 1 月

*减反膜,或译增透膜。——译者注

目 录

前言	(vii)
第一章 关于光源辐射的引言	(1)
1.1 单色光与复合光	(1)
1.2 复合光的光谱	(1)
1.3 光谱的观察	(3)
第二章 滤光片的性质	(6)
2.1 定义	(6)
2.2 滤光片光谱透过率的研究	(11)
第三章 由化合物组成的选择吸收滤光片	(13)
3.1 吸收滤光片的特性	(13)
3.2 液体滤光片	(14)
3.3 有色玻璃滤光片	(16)
3.4 有机物质滤光片	(19)
3.5 气体滤光片	(23)
第四章 应用色散的滤光片	(25)
4.1 Christiansen滤光片	(25)
4.2 Brumberg滤光片	(28)
4.3 Hammer和Lohmann滤光片	(29)
4.4 Yeh 滤光片	(32)
第五章 多光束干涉滤光片	(33)
5.1 多光束干涉。法布里-珀罗干涉仪	(33)
5.2 透射干涉滤光片的原理	(35)
5.3 多层膜的透射干涉滤光片	(37)
5.4 多层膜的反射干涉滤光片	(41)
5.5 受抑的全反射干涉滤光片	(44)
5.6 中性干涉滤光片	(44)
5.7 校正干涉滤光片	(45)

5.8	紫外干涉滤光片	(45)
5.9	红外干涉滤光片	(47)
5.10	彩色分离干涉滤光片	(50)
5.11	由液相或气相蒸发得到的滤光片	(50)
5.12	在自然界中的干涉滤光片	(51)
第六章	双折射滤光片	(53)
6.1	关于偏振光和双折射介质的一些 基本现象的回顾	(53)
6.2	双折射晶片的条段光谱的观察	(57)
6.3	放置在二偏振片之间的双折射晶片产生的色彩	(59)
6.4	Mascart 双折射滤光片 (1874)	(60)
6.5	Lyot 双折射滤光片 (1933)	(62)
6.6	具有大视场的 Lyot 双折射片	(65)
6.7	Lyot 可调谐双折射滤光片	(68)
6.8	Lyot 滤光片的通带结构的改进 (Schoolman, 1973)	(69)
6.9	部分偏振片组合的双折射滤光片 (Title, 1976)	(71)
6.10	J.W.Evans 双折射滤光片 (1949)	(72)
6.11	Sölc 双折射滤光片 (1953)	(75)
6.12	对于一个波长消除双折射的滤光片	(82)
6.13	应用旋光晶体和对一个波长消除双折射的 滤光片	(85)
第七章	应用在偏振光下的各种现象的滤光片	(87)
7.1	J.Katzenstein 滤光片 (1967—1971)	(87)
7.2	J.H.Williamson 滤光片 (1971)	(87)
7.3	在吸收谱线附近应用磁旋光色散的滤光片	(88)
7.4	可调谐声-光滤光片	(91)
7.5	可调谐电-光滤光片	(92)
第八章	偏振滤光片的若干应用	(94)

8.1	天文学上的应用	(94)
8.2	潜艇通讯	(95)
8.3	双折射片在染料激光器的谐振腔中的应用	(96)
参考文献		(101)
汉法英对照索引		(111)

第一章 关于光源辐射的引言

1.1 单色光与复合光

由光源辐射的任何一种光都是复合的，也就是说可看成为波长 λ 及其强度所表征的诸单色光的组合。人们用微米 (10^{-6} 米) 或纳米 (10^{-9} 米) 或埃 (10^{-10} 米) 为单位来表值波长。用于不同波长光辐射的名称使人想到辐射能是沿着射线方向传播的。可见光辐射的波长约在 0.4 微米到 0.7 微米之间。波长小于 0.4 微米的辐射是紫外辐射，继续向波长更短方向的辐射是 X 射线、 γ 射线和宇宙射线。波长大于 0.7 微米的辐射是红外辐射，波长更长的是赫兹电波，波长在 0.4—0.7 微米区间以外的辐射例如紫外辐射与红外辐射是人眼所不能看到的，但能由某些物理接收器来探测到。

干涉实验显出光的波动性。早在 1872 年麦克斯韦已经指出光是电场和磁场的波动传输。但如要对其它一些实验例如光电效应作出解释，就要放弃麦克斯韦电磁理论，而应认为在辐射与物质之间以量子或非连续量进行能量交换的。此外，为了解释光电效应，爱因斯坦在 1905 年引入光子的概念。所以根据实验所得的结果说明光忽而具有波动特性，忽而现出微粒特性。从而人们可以建立上面微粒结构与辐射的波动现象是相互协调的观点。

1.2 复合光的光谱

棱镜从复合光中不等量地偏折出一些单色辐射。这些辐

射的展开（色散）组成光源辐射的光谱。

若光源是由高温物体所构成，则辐射在所有的频率上是连续分布。由这些光源发射的连续光谱主要决定于温度而与所用的物体关系很小。组成物体的原子间的碰撞造成热体的光辐射。这些碰撞使一些原子到达“激发”态，当这些原子重复回到基态时，就产生光辐射。象钨丝灯之类的白炽灯发射连续光谱。

在另一些情况下，光谱是不连续的，即或多或少地由单色辐射所组成。通过电子放电而发光的气体或蒸气组成的光源只在特定频率上辐射出它的光谱是线光谱。例如充低压氢的灯管（如 Plücker 或 Geissler 管）在放电时发射包含四条谱线的可见光谱：

H_{α}	H_{β}
$\lambda = 656.8 \text{ 纳米}$	$\lambda = 486.1 \text{ 纳米}$
$(0.6568 \mu\text{m})$	$(0.4861 \mu\text{m})$
H_{γ}	H_{δ}
$\lambda = 434 \text{ 纳米}$	$\lambda = 410.2 \text{ 纳米}$
$(0.434 \mu\text{m})$	$(0.4102 \mu\text{m})$

由放电激发的原子从一能级到达另一高能级，当它重复回到低能级时，自激发射出一定波长的光（光谱线）。

激光乃受激发射而非自激发射。它们的光谱是由比其它光源的谱线细得多的谱线组成。此外，激光还具有高度空间相干性。

原子在入射波的作用下，由于吸收能量由一能级跃迁到另一高能级。此时只有光的吸收而无辐射。用一发连续光谱的光源（钨丝灯），在其前方放置一盛有气体或蒸气的容器，我们便能观察到吸收线的存在。假如原子接受到大于使之电离所需要的能量，人们就可考查连续吸收光谱的出现。

滤光片通常与发射连续光谱的光源一起使用。它只让光源光谱中宽窄一定的部分通过。但它也能改变光谱辐射之间的相对强度而不截去某些辐射。此外，也有截去光源中宽窄一定部分光谱的滤色片。如光源发射线光谱，则用滤色片是为了不让光谱中某些谱线通过。

1.3 光谱的观察

借助分光镜或光谱仪可对光源光谱进行研究。这些仪器随不同辐射分离元件装置的不同而有所区别。图 1.1 示出棱镜分光镜的典型系统。聚光镜 C 将所考察的光源 S 的象成在分光镜的狭缝 F 上。狭缝位于物镜 O_1 (准直镜物镜) 的焦点上。 F 上的任意一点形成的平行光束通过棱镜 P 。物镜 O_2 接受穿过 P 后的光束，在 O_2 的焦平面上形成 F 的象 F' 。用目镜 O_3 观察该象，形成狭缝 F 的实象数量与光源 S 辐射的光中包含的单色辐射数量相等。这些象的总体称为光源 S 的光谱。光谱可由分离的谱线或稍有宽度的一些谱带所组成；它也可能是在延伸范围中的连续光谱。若在物镜 O_2 的焦面 F' 上放置一透明刻度尺，我们便能对谱线位置进行定标。

有许多类型的棱镜分光镜，如直视分光镜、定偏向分光镜、自准直分光镜等。但是，关于这些仪器的具体描述，在有关光谱仪器的专著中，比这本小册子要详细得多，因此作为一个简单的例子我们只列举图 1.1。

棱镜分光镜的应用不如光栅分光镜。图 1.2 给出一台光栅分光镜的示例。这里给出的光栅是一个平表面，其上刻有许多平行而等距的槽纹。二槽纹之间的距离称为栅线间距。现在光栅是用全息照相法制成，它们都是反射光栅。按照所

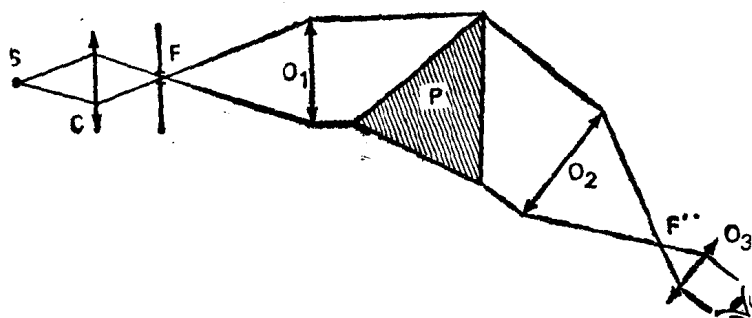


图 1.1 棱镜分光镜

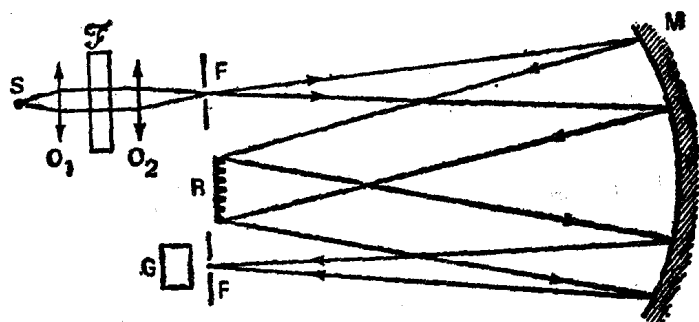


图 1.2 光栅分光镜

需要的色散，槽纹的数量由每毫米几百条到几千条不等。考察光源 S 的象成在狭缝 F 上， F 位于球面镜 M 的焦点平面上。经球面镜 M 反射后，来自 F 上一点的光束变成平行光束。该光束由光栅 R 衍射到一定方向上，在这方向上确定其波长。在 M 镜的焦平面 F' 上得出 F 的实象数量就是在光源 S 中单色光辐射的数目。在 F' 上放置一狭缝，在它的后面用一适当的接收器（例如光电管或光电倍增管），并连接一台记录仪，光谱中的强度分布随着光栅 R 的旋转呈现出来，光谱在 F' 前扫描，由记录仪获得的曲线就是光谱结构，分光镜就成为一台分光光度计。

棱镜只提供—种光谱，光栅却与之不同，它能给出许多光谱。一些光谱能相互重叠，需要时可用吸收滤色片除掉有妨碍的辐射。如图 1.3 所示。光栅给出的色散也与棱镜不同。在光栅光谱中，对应于二波长 λ_1 与 λ_2 的等量差别 ($\lambda_1 - \lambda_2$)，它的光谱展开量是不变的 (标准光谱)。而用玻璃棱镜时在紫色区的展开量远比红色区为大。

也有各种不同类型的光栅仪器，鉴于前面已经指出过的原因，我们不再一一列举。

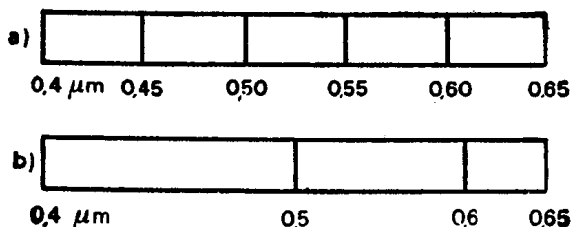


图 1.3 光栅光谱与玻璃棱镜光谱之比较

第二章 滤光片的性质

2.1 定 义

滤光片在连续光谱中用于透过一定宽度的光谱带或在线状光谱中用于提取某些辐射。滤光建立在不同类型的现象上,例如由化学成分产生的选择吸收、反射、色散、多光束干涉或在偏振光下的干涉。

滤光片的基本特性是它的透过率。若 Φ_0 是入射光通量, Φ 是经滤光片的透射光通量。透射光通量与入射光通量之比称为“透过率 T ”:

$$T = \frac{\Phi}{\Phi_0} \quad (2.1)$$

当然透过率 T 总是小于1的。 T 越接近于1,则滤光片就越透明。通常滤光片是由平行平面玻璃板组成。由于入射光的一部分在玻璃薄片上受到反射而损失。“固有透过率”为刚由薄片透过的光通量与刚刚进入该薄片光通量之比。固有透过率表征介质真正的吸收。这就是我们在下面将要讨论的,而简单称它为“透过率”。我们对寄生反射或所有的其它相互作用例如可能在滤光片之间造成的干涉也概予忽略。

假设有好几块依次排列的滤光片,它们的透过率分别为:

$$T_1 = \frac{\Phi_1}{\Phi_0}, \quad T_2 = \frac{\Phi_2}{\Phi_1}, \quad T_3 = \frac{\Phi_3}{\Phi_2}, \quad \dots \quad (2.2)$$

式中 Φ_1 、 Φ_2 、 Φ_3 是依次由各个滤光片透过的光通量。滤光片组合的总透过率为:

$$T = \frac{\Phi_n}{\Phi_0} = \frac{\Phi_1}{\Phi_0} \cdot \frac{\Phi_2}{\Phi_1} \cdot \frac{\Phi_3}{\Phi_2} \cdot \dots \cdot \frac{\Phi_n}{\Phi_{n-1}} \quad (2.3)$$

由此得

$$T = T_1 \times T_2 \times T_3 \times \dots \quad (2.4)$$

滤光片组合的总透过率等于各块滤光片的透过率之积。

我们常用“光密度”表征滤光片，它是透过率倒数的常用对数值：

$$D = \log \frac{1}{T} \quad (2.5)$$

光密度 D 愈接近 0，滤光片愈透明。

按 (2.4) 式，依次排列的数块滤光片的总光密度为：

$$\begin{aligned} D &= \log \frac{1}{T_1 \times T_2 \times T_3 \times \dots} = \log \frac{1}{T_1} + \log \frac{1}{T_2} \\ &\quad + \log \frac{1}{T_3} + \dots \end{aligned} \quad (2.6)$$

即

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + \dots \quad (2.7)$$

滤光片组合的总光密度等于各块滤光片的光密度之和。

当已知厚度 e_1 的吸收介质的透过率 T_1 ，则可利用 Lambert 定律计算出另一厚度 e_2 的透过率 T_2 ：

$$T_2 = (T_1)^{e_2/e_1} \quad (2.8)$$

光密度则为：

$$D_2 = \frac{e_2}{e_1} D_1 \quad (2.9)$$

滤光片的最重要的特性是其光谱透过率，即透过率或光密度是波长 λ 的函数。 $T(\lambda)$ 或 $D(\lambda)$ 曲线表示滤光片的透

率在所考察的光谱区内是怎样变化的。

在以后的图中，假设滤光片被在所有波长上发射相等光量的白光光源照明（等能量光谱），波长用纳米表示。图 2.1 表示滤光片的光谱曲线，其最大光谱在绿光处，其它可见光谱区并没有全部被滤光片截去，这种滤光片称为宽通带滤光片。图 2.2 的滤光片具有一个狭窄的通带，通常人们称它为“单色滤光片”。最大透过值的波长 λ 和透过最大值二分之一的带宽 $\Delta\lambda$ 是这类滤光片的二大特征。当光谱中存在若干个透过带时，我们定义分辨透过带的波长间距为自由光谱区间。

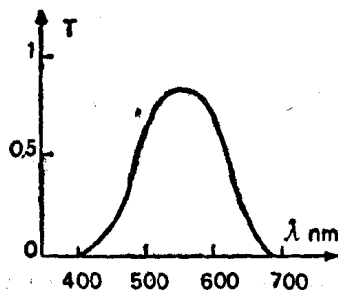


图 2.1 具有宽通带的绿色滤光片

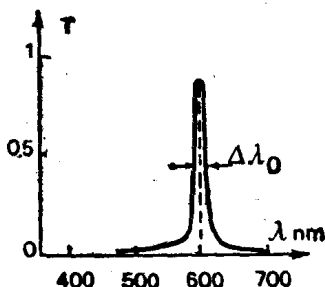


图 2.2 具有窄通带的黄色滤光片

我们能以吸收带替代多少有一点狭的透过带（带通滤光片），例如图 2.3 的吸收带滤光片（钕谱玻璃*）。也存在“截止带”型的滤光片；有的能截除某个波长以上的辐射（低通滤光片）；有的能除去某个波长以下的辐射（高通滤光片）；透过率很少随波长变化的滤光片为“中性”滤光片，这就是图 2.4 的情况。

* 钕谱玻璃——这种滤光片与另一绿色滤光片合用能分离出汞灯中的唯一的一条 $\lambda=546.1$ 纳米的绿色谱线。——译者注