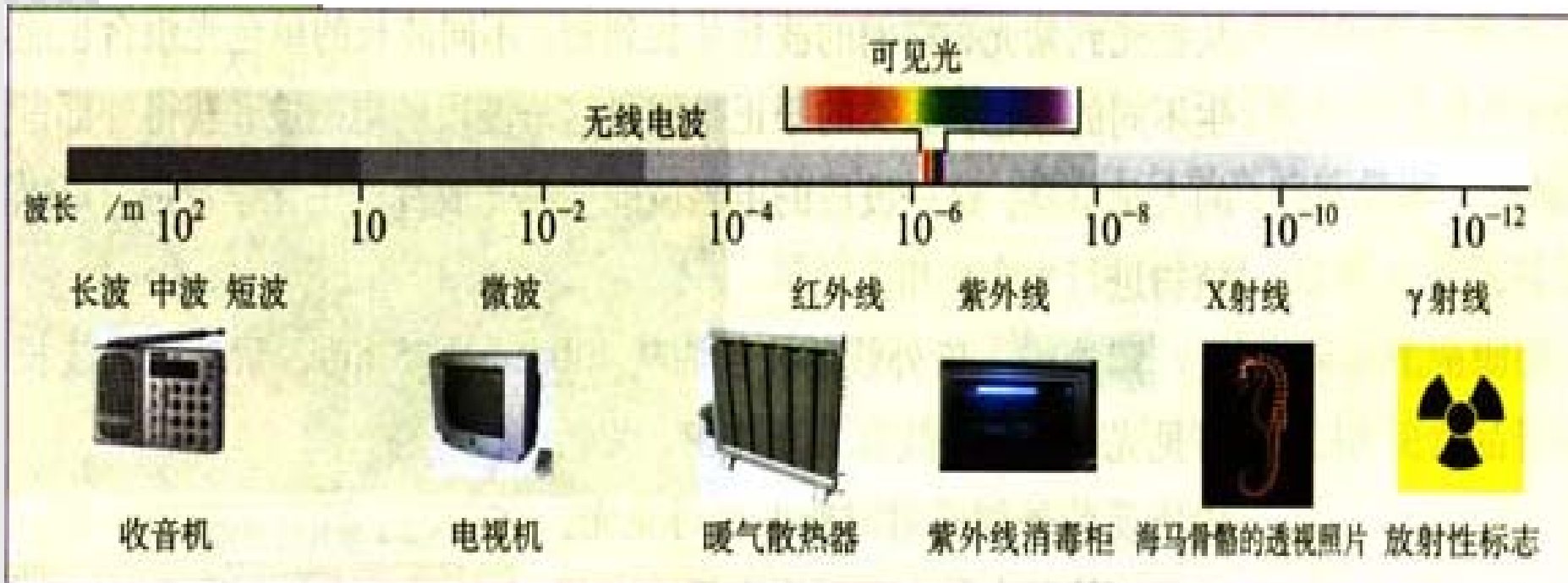


光学薄膜

-----基础知识介绍

光是什么？

光是一种电磁波，（在真空中的）可见光波长范围是700~400nm；红外光为约700到 10^7 nm量级；紫外光1-400nm；比紫外光短的还有X射线、 γ 射线（ <0.001 nm）等；而比红外长的就是我们熟悉的无线电波



什么叫光的干涉？

物理定义：

当2个或多个光波（光束）在空间叠加时，在叠加区域内出现的各点强度稳定的强弱分布现象。

产生的条件：

- 1、光波产生的相位差固定不变
- 2、光波的振幅不能相互垂直
- 3、光波的频率要一致

什么叫做光学薄膜？

- 所谓光学薄膜，首先它应该是薄的
- 然后它应该会产生一定光学效应的

那么要薄到什么程度呢？

- 定性的讲：它的厚度应该和入射光波长可以相比拟的
- 物理意义上讲：能引起光的干涉现象的膜层

与镀膜技术密切相关的产业

- 眼镜镀膜-----AR
- 幕墙玻璃-----AR
- 滤光片
- 液晶领域-----ITO膜
- 车灯、冷光镜、舞台灯光滤光片
- 光通信领域：DWDM、光纤薄膜器件
- 红外膜
- 激光领域-----激光反射腔高反射膜
- CD、DVD驱动器
- 投影显示
- 数码领域

光学薄膜在光学系统中的作用

- 提高光学效率、减少杂光。如高效减反射膜、高反射膜。
- 实现光束的调整或再分配。如分束膜、分色膜、偏振分光膜就是根据不同需要进行能量再分配的光学元件。
- 通过波长的选择性透过提高系统信噪比。如窄带及带通滤光片、长波通、短波通滤光片。
- 实现某些特定功能。如ITO透明导电膜、保护膜等

当前最热门的应用领域

- ❖ 1、数码相机用的IR-CUT
- ❖ 2、投影显示光学系统----包括LCD、DLP、LCOS
- ❖ 3、光通讯：DWDM (dense wavelength division multiplexer)滤光片
- ❖ 4、减反射膜----永远的热门

一、光学薄膜的类型

我们根据其作用，可以简单的分为

- 1、减反射膜或者叫增透膜
- 2、分束膜
- 3、反射膜
- 4、滤光片
- 5、其他特殊应用的膜

一、减反膜

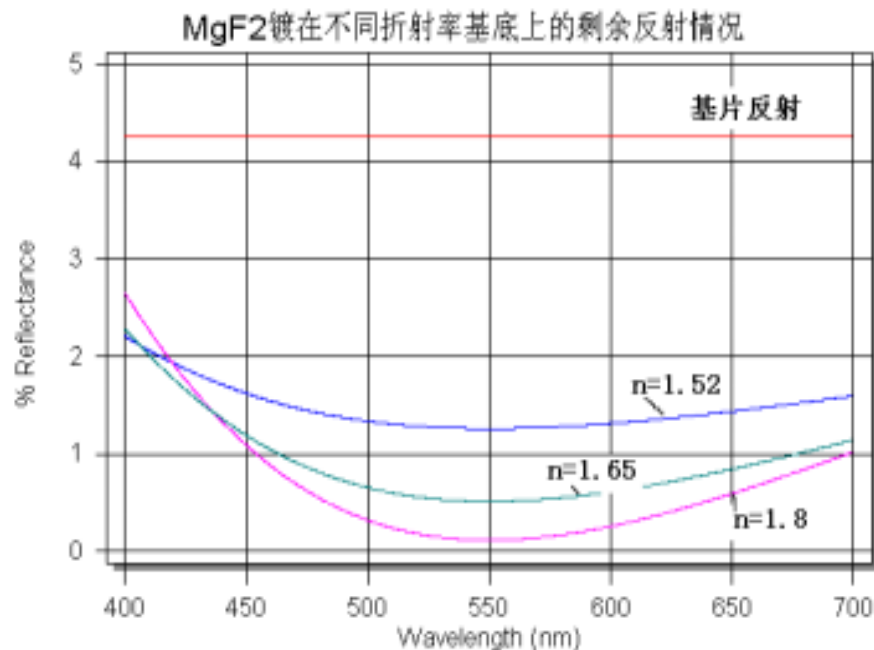
1、减反膜的作用

- 增加光学系统透过率
- 减少杂散光
- 提高象质
- 增加作用距离

一、减反膜

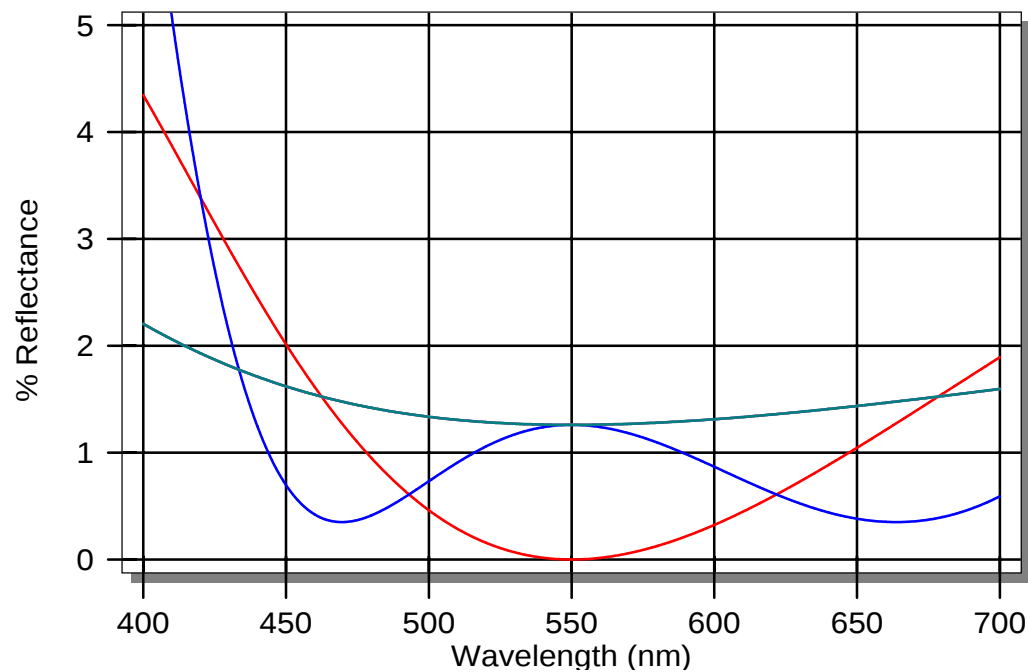
2、减反膜按层数分类

○ 单层减反膜



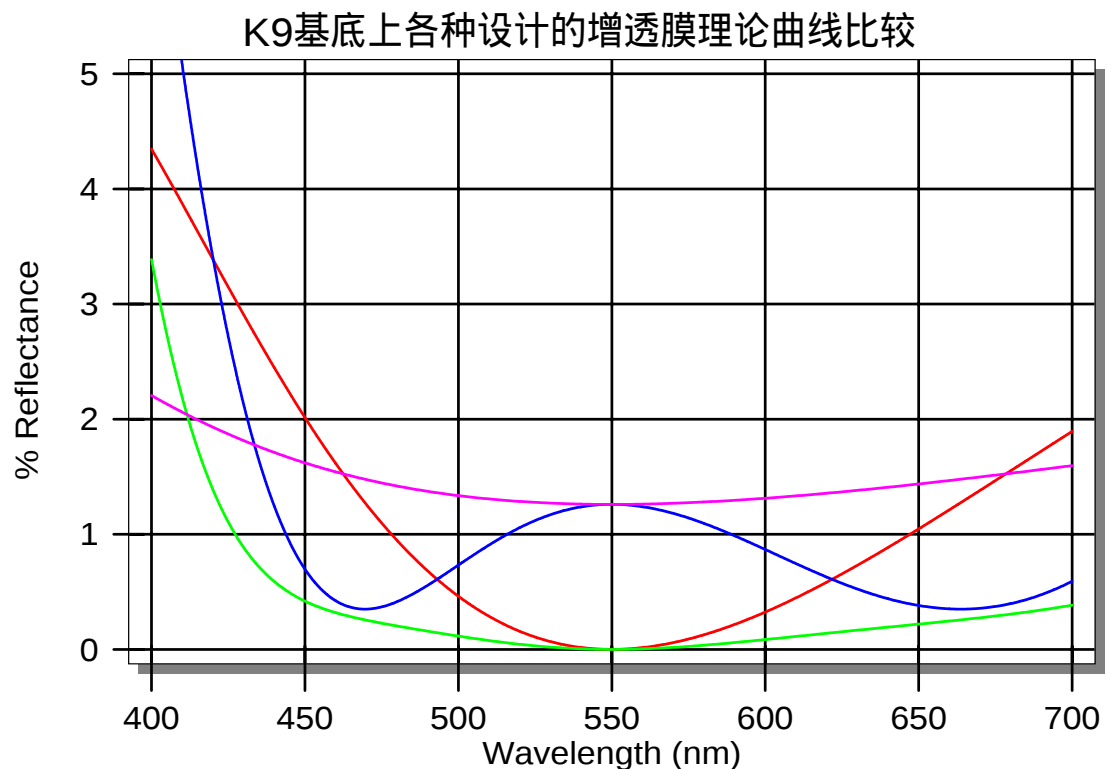
一、減反膜

○ 双层減反膜



一、减反膜

o 多层减反膜



一、减反膜

3、另一种分类

- 单点减反
- 宽波段减反（超宽波段）
- 双波段减反
- 宽角度减反

减反膜几个重要的技术指标

- 使用的波段
- 使用的角度或者角度范围
- 剩余反射率要求
- 使用环境
- 在激光领域还有激光阈值要求

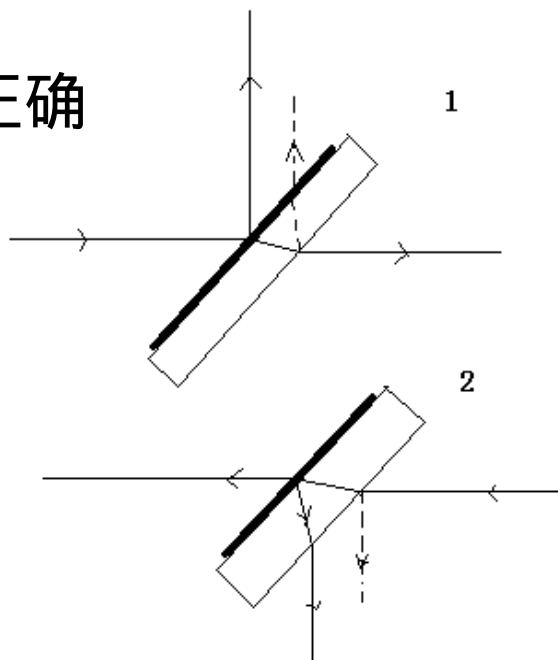
二、分束膜

一般来讲，分束膜总是倾斜使用，常用的是45度。分束膜有两种：**中性分束膜**（也就是一般讲的消偏振NPBS）、**偏振分束膜**（也就是通常讲的PBS）。

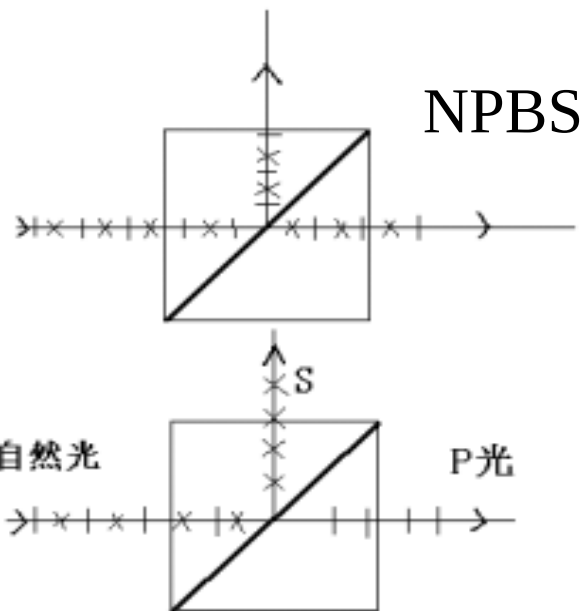
中性分束镜有两种结构：平板型和棱镜型。而PBS一般都用棱镜。平板结构由于不可避免的象散问题所以只用于中低要求的光学装置。

二、分束膜

正确



错误



NPBS

PBS

二、分束膜

分束膜根据镀膜材料还有金属分束镜和介质分束镜两种。

两种分束镜各有各的优缺点，可以根据不同的使用要求和工艺水平采用不同的类型。

二、分束膜

金属分束镜的优缺点

优点：中性好，光谱范围宽、偏振效应小、制作简单

缺点：吸收大、激光阈值低

使用注意事项：光的入射方向

二、分束膜

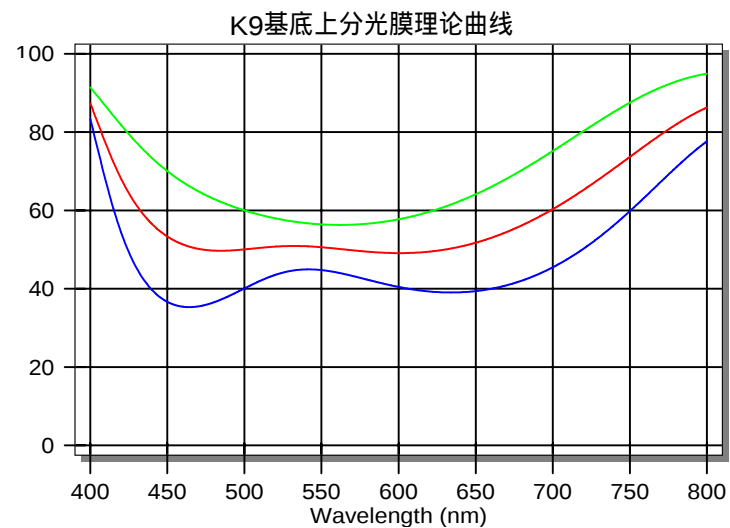
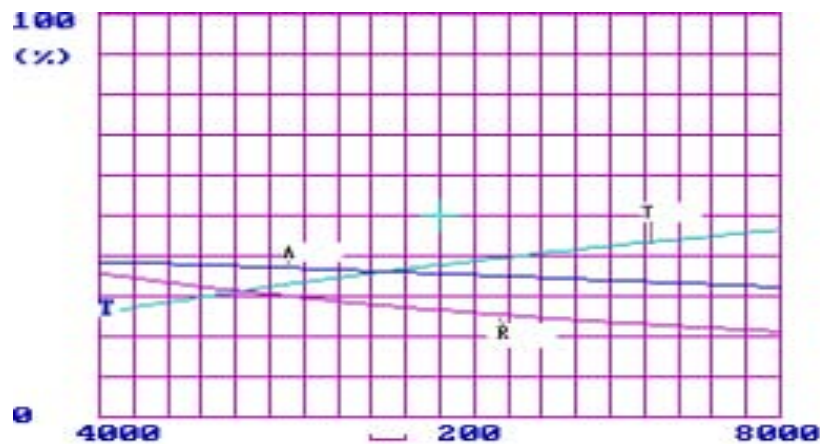
介质分束镜的优缺点

优点：吸收小，几乎可以忽略

缺点：光谱范围窄、偏振分离明显、角度效应明显

二、分束膜

两类分束镜的曲线



三、濾光片

一般我们把改变光束性质或者颜色的膜叫做濾光膜。

常见的有：

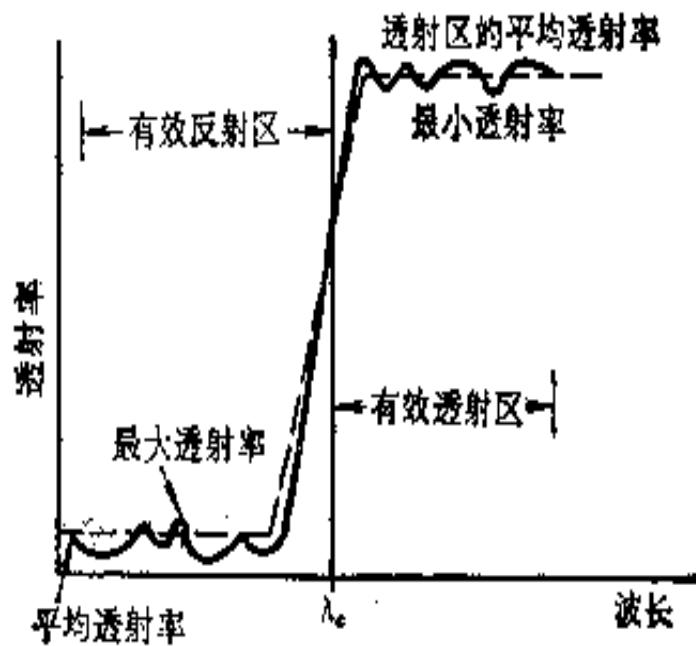
- 1、干涉截止濾光片
- 2、帶通濾光片
- 3、金属濾光片
- 4、负濾光片

三、滤光片

1、干涉截止滤光片

要求某一波长范围的光束高透，而偏离这一区域的光束骤然变为截止-----我们把这中类型的膜叫干涉截止滤光片。此类膜有着广泛的用途，例如照明上用的冷光碗上的冷光膜、舞厅里色彩变幻的旋转灯以及我们在做的 IR-CUT都属于此类。

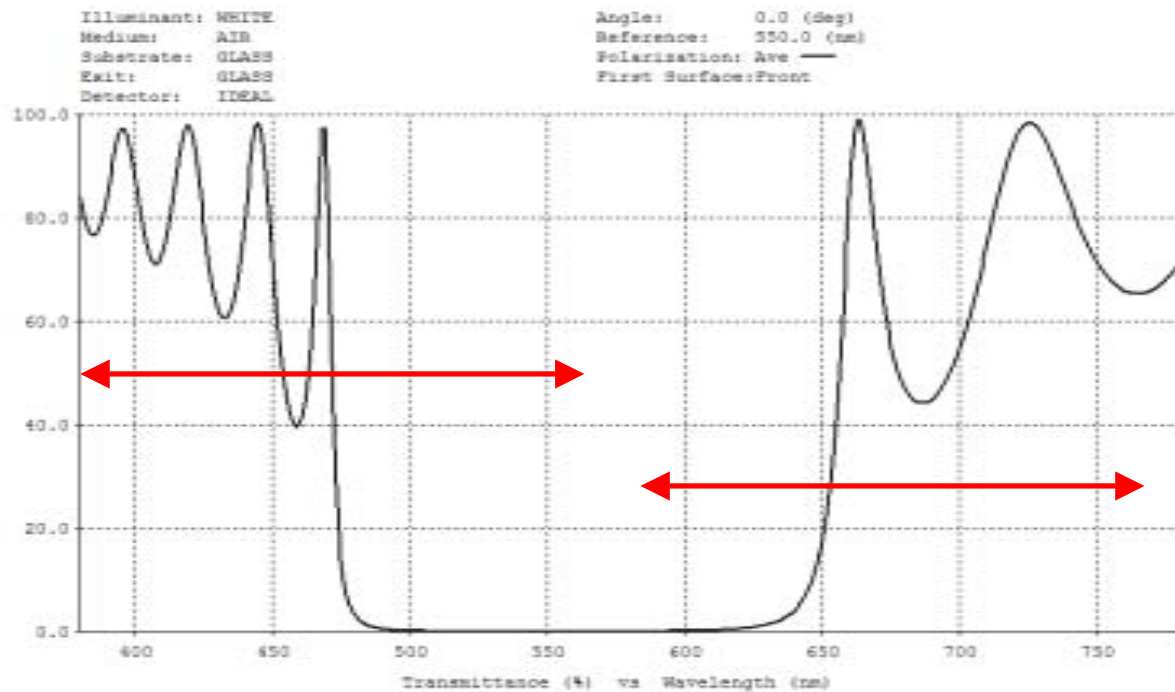
干涉截止滤光片的几个重要指标



1. 透射曲线开始上升(或下降)时的波长以及此曲线上升(或下降)的许可斜率
2. 高透射带的光谱宽度、平均透射率以及在此透射带内许可的最小透射率
3. 具有低透射率的反射带(抑制带)的光谱宽度以及在此范围内所许可的最大透射率。

干涉截止滤光片的分类

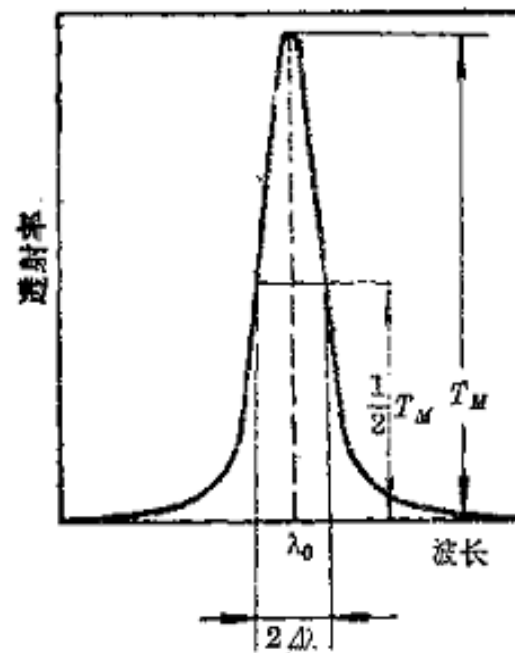
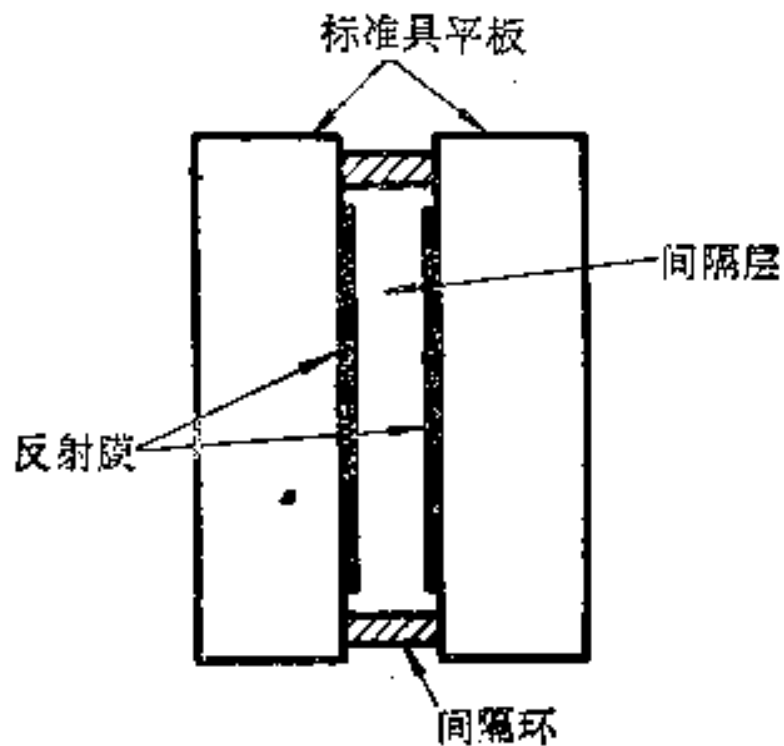
可以分为长波通和短波通两类，见下图



四、带通滤光片

从光学薄膜的角度来讲，最有意义的进展是1899年出现的法布里-珀洛干涉仪。它是干涉带通滤光片的一种基本结构。而自从1940年出现金属-介质滤光片以来，它已经在光学、光谱学、激光、天文物理学等各个领域得到了广泛的应用。

四、带通滤光片



法布里—珀洛的结构

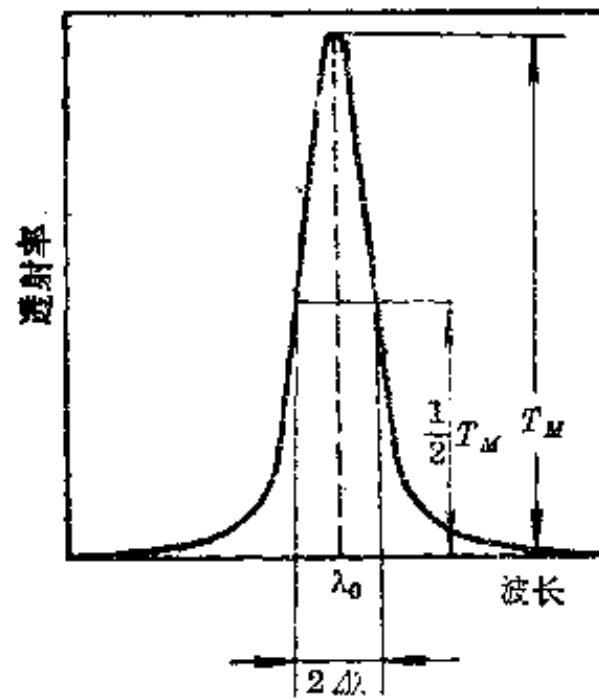
四、带通滤光片

带通的主要参数

λ_0 ——中心波长，或峰值波长

$T_{\max}$ ——中心波长透射率，
或，峰值透射率

$2\Delta\lambda$ ——透过率为峰值透过率一半的波长宽度，也称通带半宽度，有时也用 $2\lambda/\lambda_0$ 表示相对半宽度



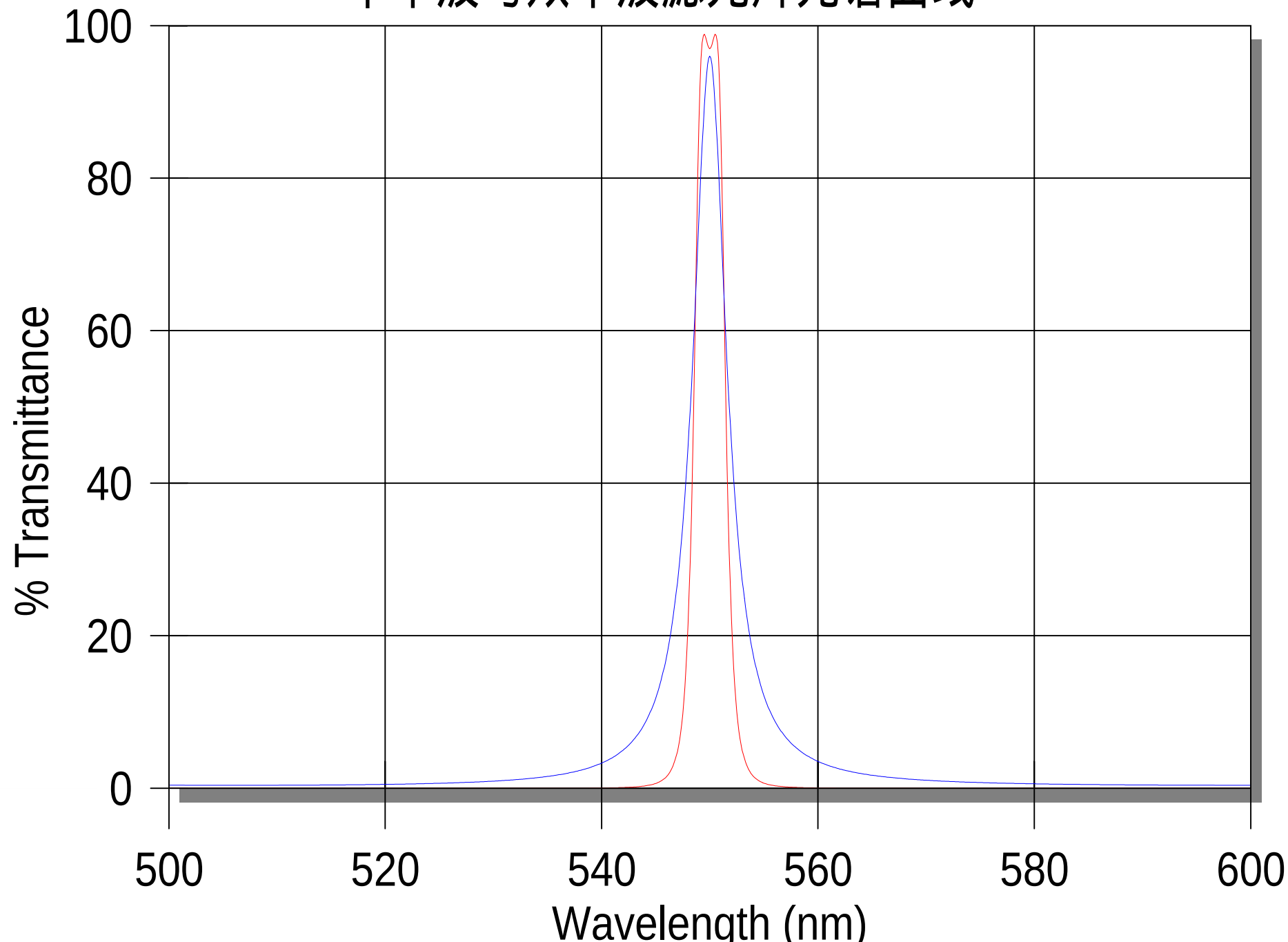
表征滤光片特性的主要参数

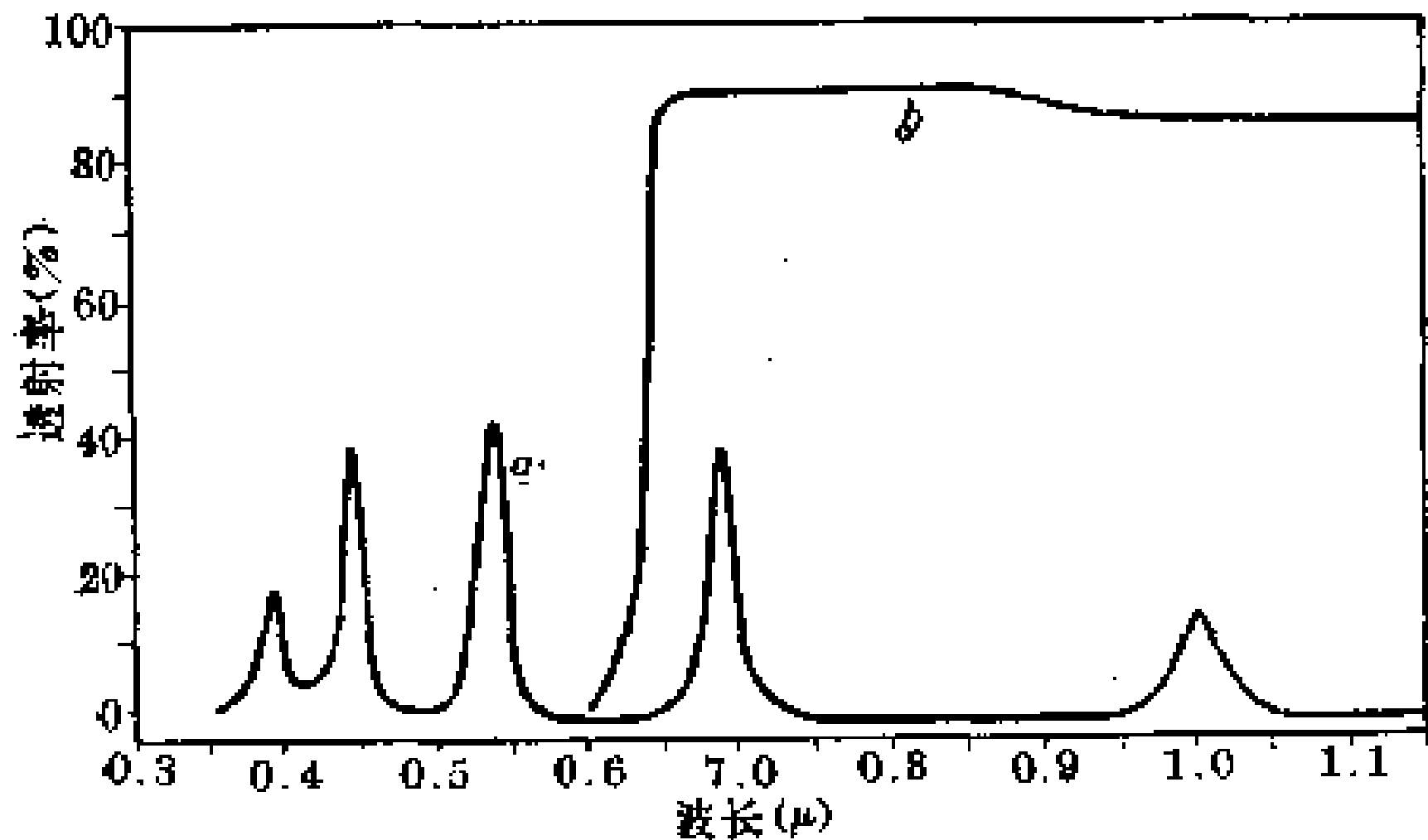
四、带通滤光片

根据膜层的不同，可分为

- ❑ 金属滤光片
- ❑ 全介质滤光片
- ❑ 双半波、三半波全介质滤光片
- ❑ 金属诱导透射滤光片

单半波与双半波滤光片光谱曲线





曲线 a: 用于可见区的金属-介质滤光片的特性

曲线 b: 吸收玻璃的透射率, 用以抑制短波通带

金属诱导透射滤光片

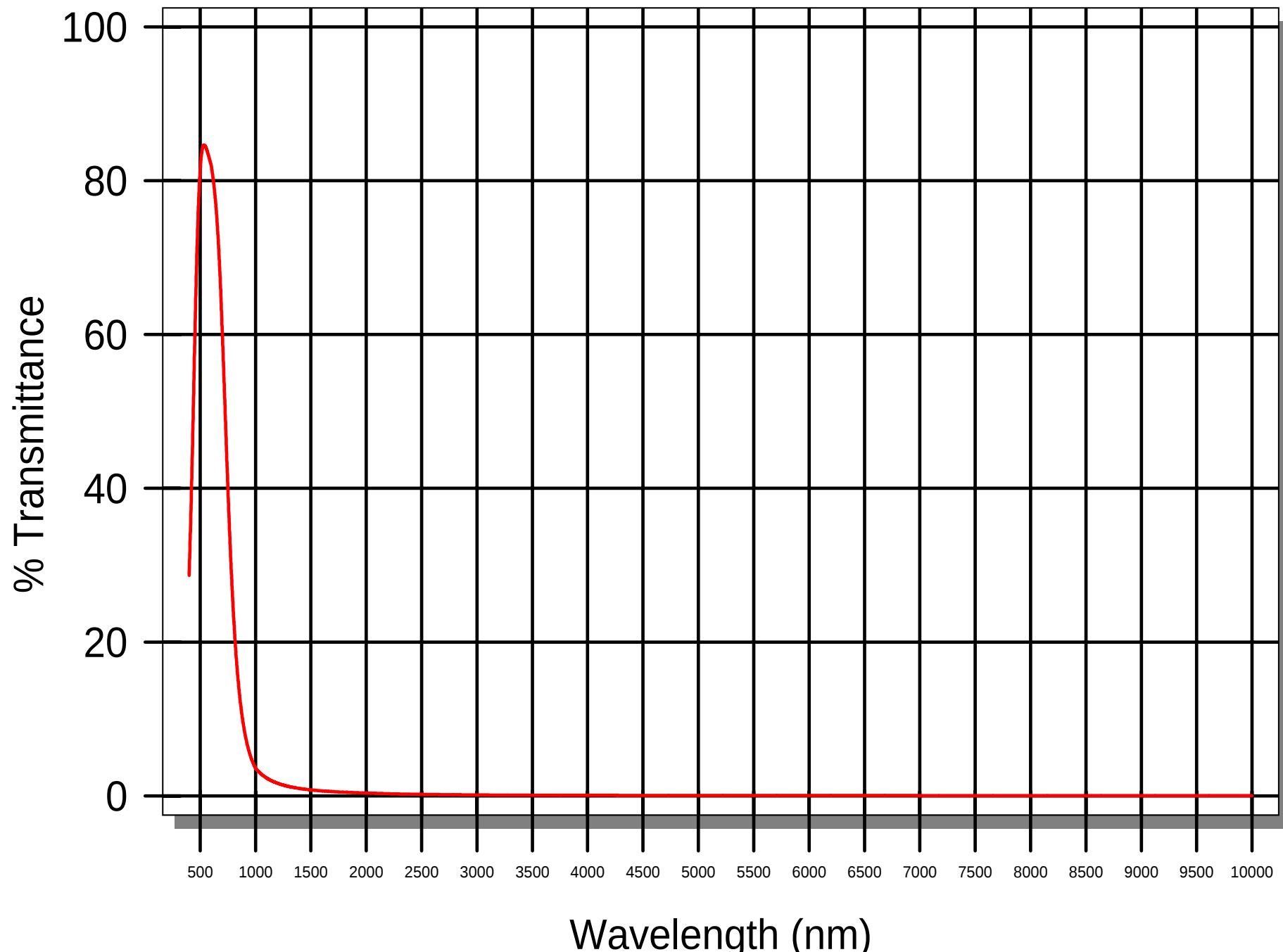
介质带通滤光片的结构为：介质反射膜/间隔层/介质反射膜/间隔层/介质反射膜。但是滤光片也可以是混合结构，例如用一层金属膜如银膜代替两间隔之间的介质反射膜形式如下：

介质反射膜/间隔层/金属膜/间隔层/介质反射膜

这是金属诱导透射滤光片的基本形式

这种滤光片的最大好处：长波无次峰、透射率较高

诱导透射滤光片



五、反射膜

在光学薄膜中，反射膜和增透膜几乎同样重要。对于光学仪器中的反射系统来说，一般单纯金属膜的特性大都已经满足常用要求。在某些应用中，要求更高的反射率则可用金属增强镜。而全介质多层反射膜，由于这种反射膜具有最大的反射率和最小的吸收率因而在激光应用和一些高要求的系统中得到了广泛的使用。

五、反射膜

金属膜材料的选择原则

- ❑ 先考虑使用波段要求
- ❑ 反射率要求
- ❑ 使用环境
- ❑ 制作成本等

常用有Al、Ag、Au、Pt

五、反射膜

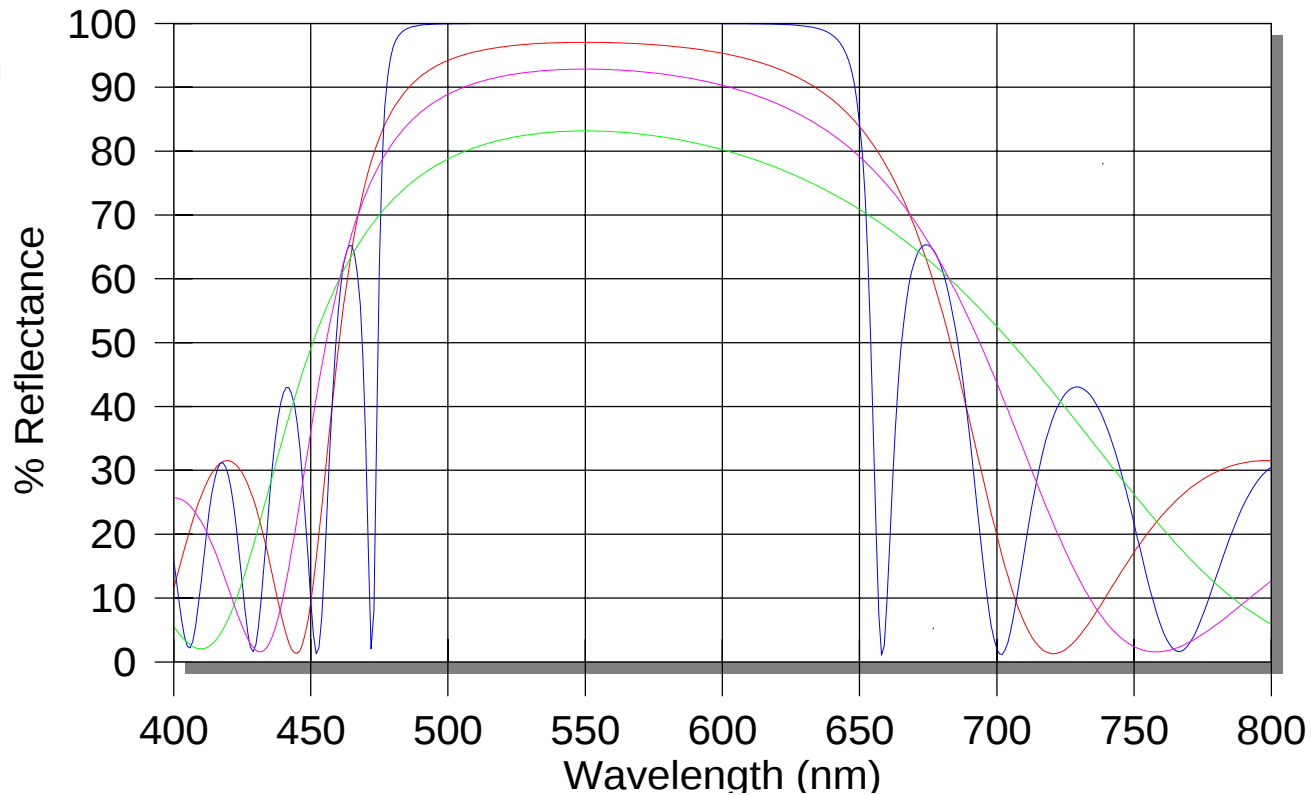
- 铝：最常用，紫外、可见、红外
- 银：反射率最高，稳定性差
- 金：红外常用、稳定
- 铂、铱：稳定、坚固

五、反射膜

全介质反射镜

理论上只要增加膜系的层数反射率可无限地接近于100%，实际上由于膜层中的吸收、散射损失，当膜系达到一定层数时继续加镀两层并不能提高其反率，有时甚至由于吸收、散射损失的增加而使反射率下降因此膜系中的吸收和散射损耗限制了介质膜系的最大层数。

5\7\9\17层反射膜光谱



由上图可以看出最高反射率随层数增加，而反射带宽并不增加

光学薄膜的类型与符号

1.减反膜

2.滤光膜

3 保护膜

4 内反射

5 外反射

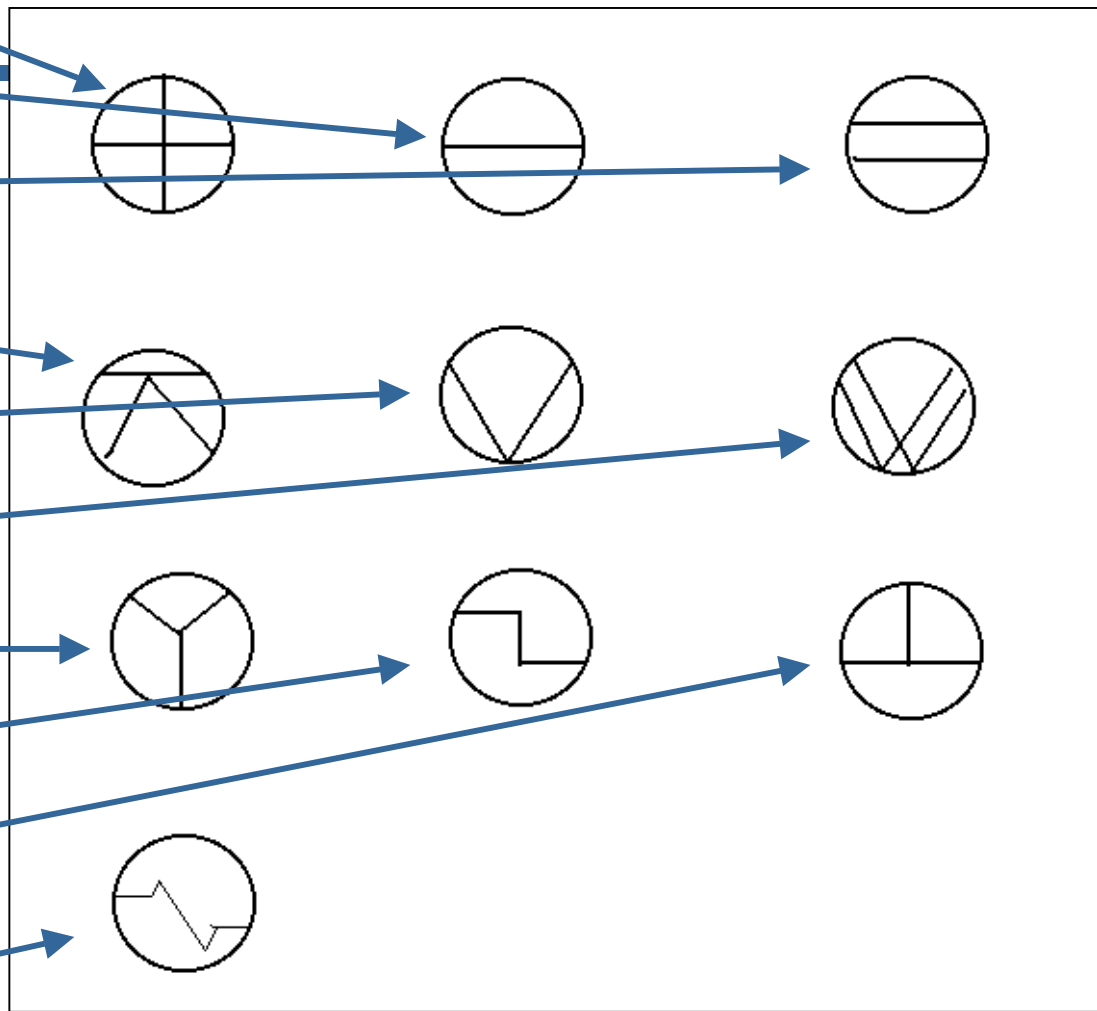
6 高反膜

7 分束膜

8 分色膜

9 偏振膜

10 导电膜



光学薄膜的依附体

——基板

光学上常用的基板

一、玻璃-----在光学应用上最重要

二、陶瓷

三、光学晶体

四、光学塑料（如PC、PMMA等）

五、金属

一、玻璃

玻璃可以分为：

- 1、普通玻璃
- 2、无色光学玻璃
- 3、有色光学玻璃
- 4、特殊玻璃等

1、无色光学玻璃的分类

根据化学成分，无色光学玻璃可以分为两类：

1、**冕牌玻璃**-----K带头的玻璃，折射率 n 较小，色散系数大，可分为氟冕（FK）、磷冕（PK）、轻冕（QK）、钡冕（BaK）、重冕（ZK）、镧冕（LaK）、特冕（TK）等；

2、**火石玻璃**-----F带头的玻璃，折射率 n 较大。色散系数大，可分为冕火石（KF）、轻火石（QF）、钡火石（BaF）、重火石（ZF）、镧火石（LaF）等。

共有160多种之多。

无色光学玻璃一些技术指标

1、 n_d ----指587.7nm(氦黄线)处的折射率;

2、 n_D ----指589.3nm(钠黄线)处的折射率;

3、相对色散(阿贝数) v_d 、 v_D

----由 $n_f(486.1\text{nm})$ 和 $n_c(656.3\text{nm})$ 确定:

$$v_d = (n_d - 1) / (n_f - n_c)$$

$$v_D = (n_D - 1) / (n_f - n_c)$$

无色光学玻璃的分级

玻璃按下列各项质量指标分类和分级：

- a. 折射率、色散系数与标准数值的允许差值；
- b. 同一比中，折射率及色散系数的一致性；
- c. 光学均匀性；
- d. 应力双折射；
- e. 条纹度；
- f. 气泡度；
- g. 光吸收系数；
- h. 耐辐射性能（N系列玻璃）。

根据折射率与标准数值的允许差值，玻璃按表3分为6类。

类别	折射率 n_d 允许差值	类别	折射率 n_d 允许差值
00	$\pm 2 \times 10^{-4}$	2	$\pm 7 \times 10^{-4}$
0	$\pm 3 \times 10^{-4}$	3	$\pm 10 \times 10^{-4}$
1	$\pm 5 \times 10^{-4}$	4	$\pm 20 \times 10^{-4}$

玻璃的光学均匀性以一块玻璃中各部位间的折射率微差最大值 $\Delta n_{\max}$ 表示时，按下表分为4类。

类别	折射率最大微差， $\Delta n_{\max}$
H_1	$\pm 2 \times 10^{-6}$
H_2	$\pm 5 \times 10^{-6}$
H_3	$\pm 1 \times 10^{-5}$
H_4	$\pm 2 \times 10^{-5}$

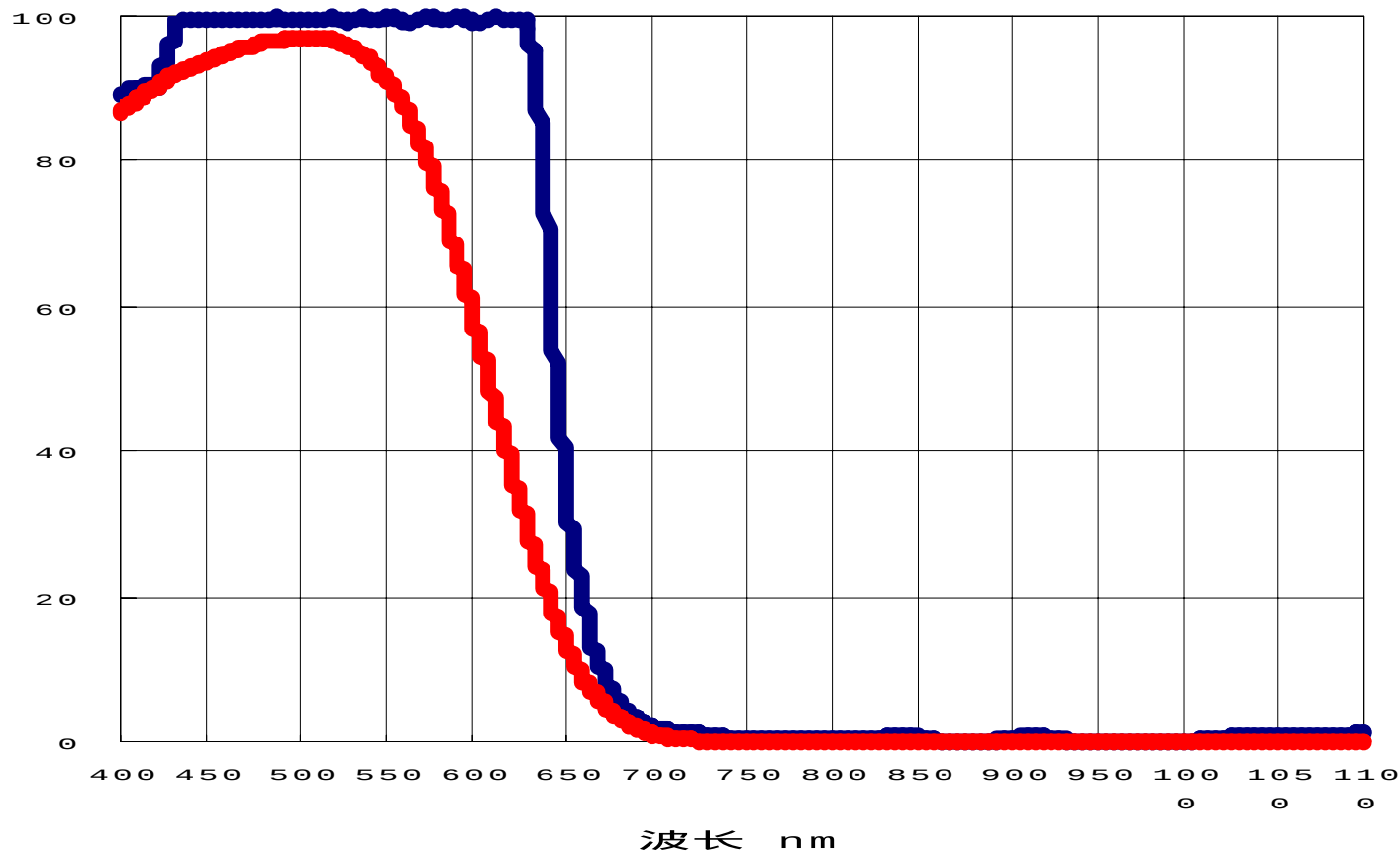
2、有色玻璃

它主要是滤光作用，有时候替代镀膜有时候和薄膜组合。按照着色原理可以分为胶态着色和离子着色有色玻璃两类。通过加入不同的吸收离子我们可以得到各种各样颜色的玻璃。

我们在用的蓝玻璃就是一种有色玻璃，HOYA叫CM5000，肖特叫BG38、BG39等，国际、国内均有一些专业的有色玻璃生产商。

有色玻璃和镀膜在曲线上的区别

T



3、普通玻璃

如青板玻璃

由于加了0.08~0.12%的氧化铁；二阶、三阶铁分别在1100nm和380nm处构成吸收带，吸收了部分红光和青光； 它的折射率 $n=1.515$ 。

白板玻璃、超白玻璃等均要归入此列。

4、特殊玻璃

特殊玻璃可以包括

- A、耐辐射玻璃
- B、石英玻璃
- C、隔热玻璃
- D、微晶玻璃
- E、耐热玻璃
- F、硬质玻璃等。

二、光学塑料

塑料是什么？

塑料是一种以合成树脂或天然树脂(一般为高分子聚合物)为基本成分，在加工过程中，可塑制成型，产品最终能保持形状不变的材料。光学塑料乃是一种可以与玻璃竞争的透明塑料。它具有一定的光学特性、机械特性和化学特性，能满足光学零件的要求，从而逐渐构成光学三大基本材料之一(玻璃、光学晶体和光学塑料)。

1、光学塑料的应用

目前，光学塑料的应用大致分为三大类：

A、塑料透镜(包括工业、仪器用透镜、眼镜、接触眼镜、非球面透镜、棱镜和菲涅耳透镜等)；

B、光盘及光学纤维；

C、其它功能性光学塑料元件。其应用范围、越来越

2、 常见的光学塑料

在世界范围内，光学塑料品种已有上百种，但真正用到工业开发，应用面广的品种并不多，据统计约十多种，如PMMA、PS、PC、SAN、CR-39、TPX等。

各种文献中报道的新品种非常多，日本就有了s-16、KT-153、TS-26等。最近日本开发出了一种聚烯经树脂，是用作光盘的新材料，它的相对密度小，仅1.01，耐热性好(T_g 为 140°C)，透光率为90%，可见光学塑料的发展日新月异。

3、光学塑料的类型

据受热后的性能变化，光学塑料可分为两大类：

- ① 热塑性光学塑料：热塑性塑料是指可以多次反复加热仍有可塑性的塑料，如聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、聚苯乙烯(PS)、聚碳酸酯(PC)均属热塑性塑料。
- ② 热固性光学塑料：热固性塑料是由加热固化的合成树脂制成的塑料，常见的如CR-39树脂镜片，环氧光学塑料。

4、光学塑料的优势

A、成型方便，成本低（约为玻璃的 $1/10 \sim 1/30$ ）

B、耐冲击强度高（光学塑料的冲击强度可达 $25 \times 10^3 \text{N} \cdot \text{m} / \text{m}^2$ ，比光学玻璃大10倍。经得起撞击和跌落，不易破损）

C、相对密度小：光学塑料的相对密度为0.83—1.46，而玻璃的相对密度为2.5—3.0即塑料比玻璃轻一倍，这对军用光学仪器有特殊意义。

D、透光率好（可见区和玻璃一样，在紫外和红外区比玻璃好）

5、光学塑料的缺点

- ①拆射率温度梯度大. 约为 $2 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$, 对于光学系统来说是特别不利的;
- ②热膨胀系数比玻璃大10倍左右;
- ③导热性和耐热性差, 软化温度低, 易变形, 加热时会变形和分解;
- ⑦不耐有机溶剂。
- ⑧耐磨性差,
- ⑥吸湿性严重;
- ⑦光学塑料的折射率和色散系数没有玻璃宽, 因此, 选用的余地受限制。

三、光学晶体

晶族	晶系	特征	
		轴单位	轴角
低族晶系	三斜	$a_0 \neq b_0 \neq c_0$	$\alpha_0 \neq \beta_0 \neq \gamma_0 \neq 90^\circ$
	单轴	$a_0 \neq b_0 \neq c_0$	$\alpha_0 = \gamma_0 = 90^\circ, \beta_0 \neq 90^\circ$
	正交	$a_0 \neq b_0 \neq c_0$	$\alpha_0 = \beta_0 = \gamma_0 = 90^\circ$
中级晶系	四方	$a_0 = b_0 \neq c_0$	$\alpha_0 = \beta_0 = \gamma_0 = 90^\circ$
	六方	$a_0 = b_0 \neq c_0$	$\alpha_0 = \beta_0 = 90^\circ, \gamma_0 = 120^\circ$
	三方	$a_0 = b_0 = c_0$	$\alpha_0 = \beta_0 = \gamma_0 \neq 90$
立方晶系	立方	$a_0 = b_0 = c_0$	$\alpha_0 = \beta_0 = \gamma_0 = 90^\circ$

什么叫做晶体？

晶体对我们来说既熟悉又陌生，包括食盐、糖以及一些药物等均是；

晶体具有规则的几何多面体形状，它是具有格子构造的固体。

晶体包括三大晶族七大晶系，如上表：

光学晶体常用中级晶族和高级晶族，我们的石英就是六方晶系

晶体的基本性质

- 1、均一性：内部质点的性质和排列方式一致；
- 2、各向异性：点阵性质和排列方式在方向上不一致；
- 3、对称性：在特定方向上异向同性，这个方向就是晶轴；
- 4、自范性：能自发形成封闭几何多面体的；
- 5、最小内能性：具有确定的熔点，以及特有稳定性；
- 6、稳定性：最小内能性的必然结果，不能自发转化为其他状态，非晶态则随时有结晶倾向。

晶体的几个重要的物理性质

1、解理性

2、硬度：常用莫氏硬度，指甲可划的为1~2.5，小刀能刻画的为5~5.5，锉刀为6~7，锉刀都不能的为8~9，石英晶体为7，天然金刚石为9

3、溶解度

4、双折射：高级晶族没有，中级有，会将一束光分为2束，为寻常光和非寻常光，相应的折射率用 n_o 和 n_e 表示

5、旋光性

光学晶体按用途分的类型

- 1、紫外、红外晶体：用于宇宙飞船、人造卫星导弹等的窗口，包括石英、硅、锗等
- 2、复消色差晶体：用于高级复消色差物镜
- 3、偏振晶体：制作偏振器件
- 4、激光晶体：用于制造激光器
- 5、电光晶体、声光晶体以及非线性晶体等