

## 第二章 光学显微技术

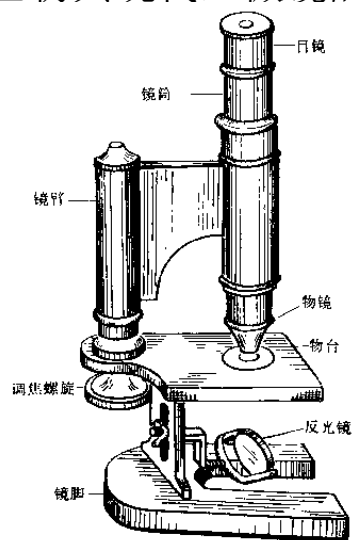
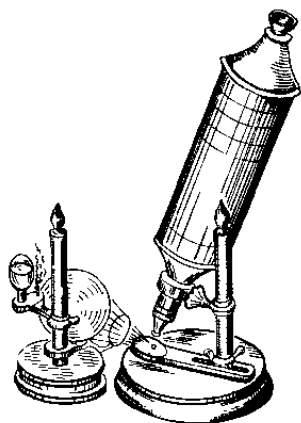
## 第二章 光学显微技术

---

1. 光学显微镜的发展历程
2. 光学基础
3. 光学显微镜的成象原理
4. 光学显微镜的构造和光路图
5. 显微镜的重要光学参数
6. 光学显微镜的工作方式
7. 样品制备

# 1 光学显微镜的发展历程

- 1590年，荷兰的詹森父子(Hans and zachrias Janssen) 制造出第一台原始的、放大倍数约为20倍的显微镜。
- 1610年，意大利物理学家伽利略(Galileo)制造了具有物镜、目镜及镜筒的复式显微镜。
- 1665年，英国物理学家罗伯特·胡克(Robert Hooke)用左图这台复式显微镜观察软木塞时发现了小的蜂房状结构，称为“细胞”，由此引起了细胞研究的热潮。
- 1684年，荷兰物理学家惠更斯(Huygens)设计并制造出双透镜目镜—惠更斯目镜，是现代多种目镜的原型。这时的光学显微镜已初具现代显微镜的基本结构(右图)。



(左) 1665年 R. Hooke用来发现细胞的光学显微镜, (右)1848年的显微镜。

# 1 光学显微镜的发展历程

---

- 在显微镜的发展史中，贡献最为卓著的是德国的物理学家、数学家和光学大师恩斯特·阿贝(Ernst Abbe)。
- 他提出了显微镜的完善理论，阐明了成像原理、数值孔径等问题，在1870年发表了有关放大理论的重要文章。
- 两年后，又发明了油浸物镜，显微镜的分辨本领达到了 **$0.2\mu\text{m}$** 的理论极限，并在光学玻璃、显微镜的设计和改进等方面取得了光辉的业绩。

# 光学显微镜发展现状

---

由传统的生物显微镜➔专用显微镜。

按照其成像原理可分为：

- 1) 几何光学显微镜，包括生物显微镜、金相显微镜、暗视野显微镜等。
- 2) 物理光学显微镜，包括相差显微镜、偏光显微镜，干涉显微镜等。
- 3) 信息转换显微镜，包括荧光显微镜、显微分光光度计、图像分析显微镜、电视显微镜等。
- 4) 随着显微光学理论和技术的不不断发展，又出现了突破传统光学显微镜分辨率极限的近场光学显微镜，将光学显微分析的视角伸向纳米世界。

## **2 光学基础**

---

**2.1 光的本质**

**2.2 光与固体物质的相互作用**

**2.3 光在晶体中的传播**

## 2.1 光的本质

---

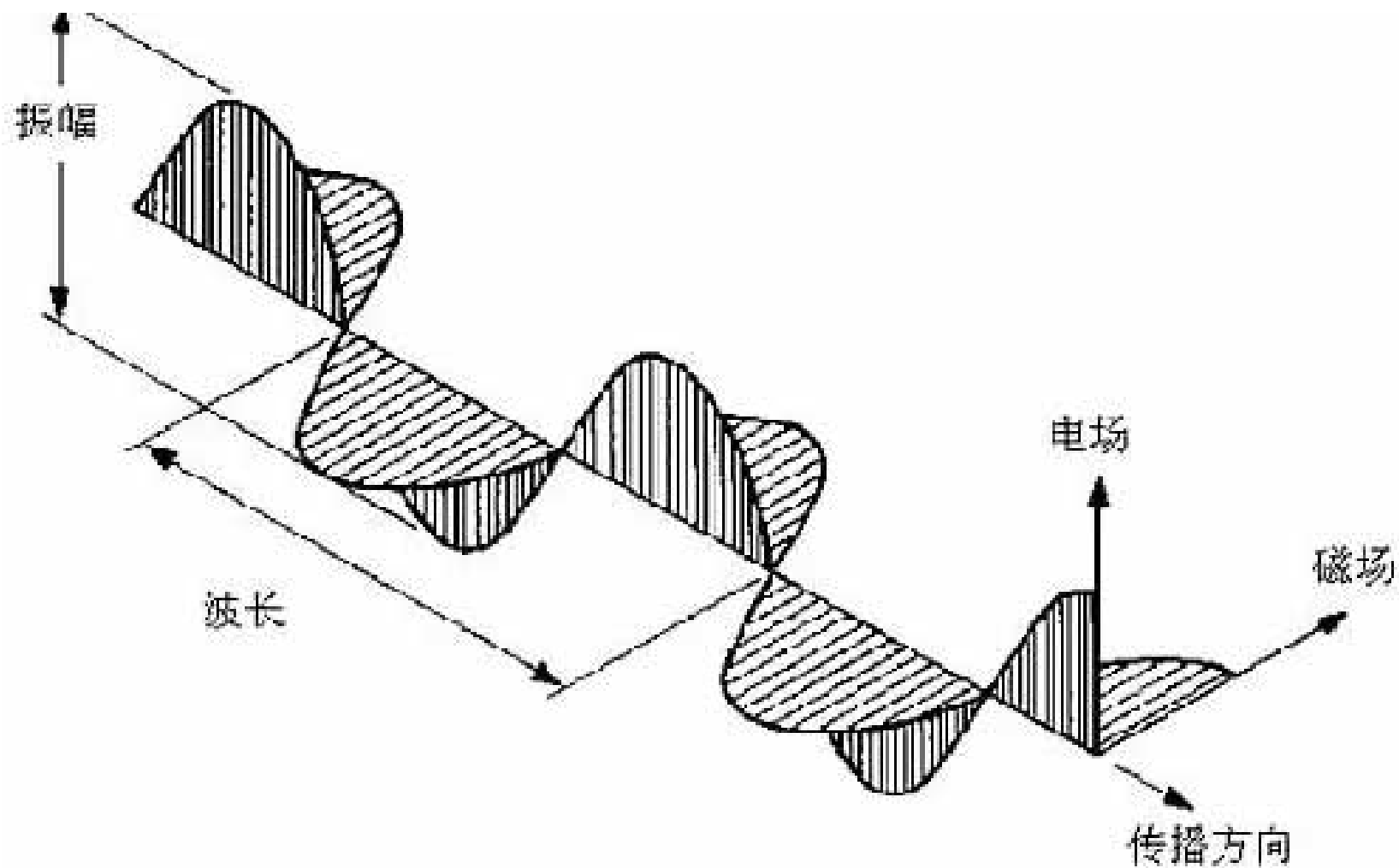
- 1. 波粒二象性
- 光是核外电子在能级之间激发跃迁产生的自发能量变化，导致发射或吸收辐射能的一种形态。
- 【波】 麦克斯韦电磁理论中，认为光是叠加的振荡电磁场承载着能量以连续波的形式通过空间。
- 【粒】 按照量子理论，光能量是由一束具有极小能量的微粒即“光子”不连续地输送着，表明光具有微粒与波动的双重性，即波粒二象性。

## 2.1 光的本质

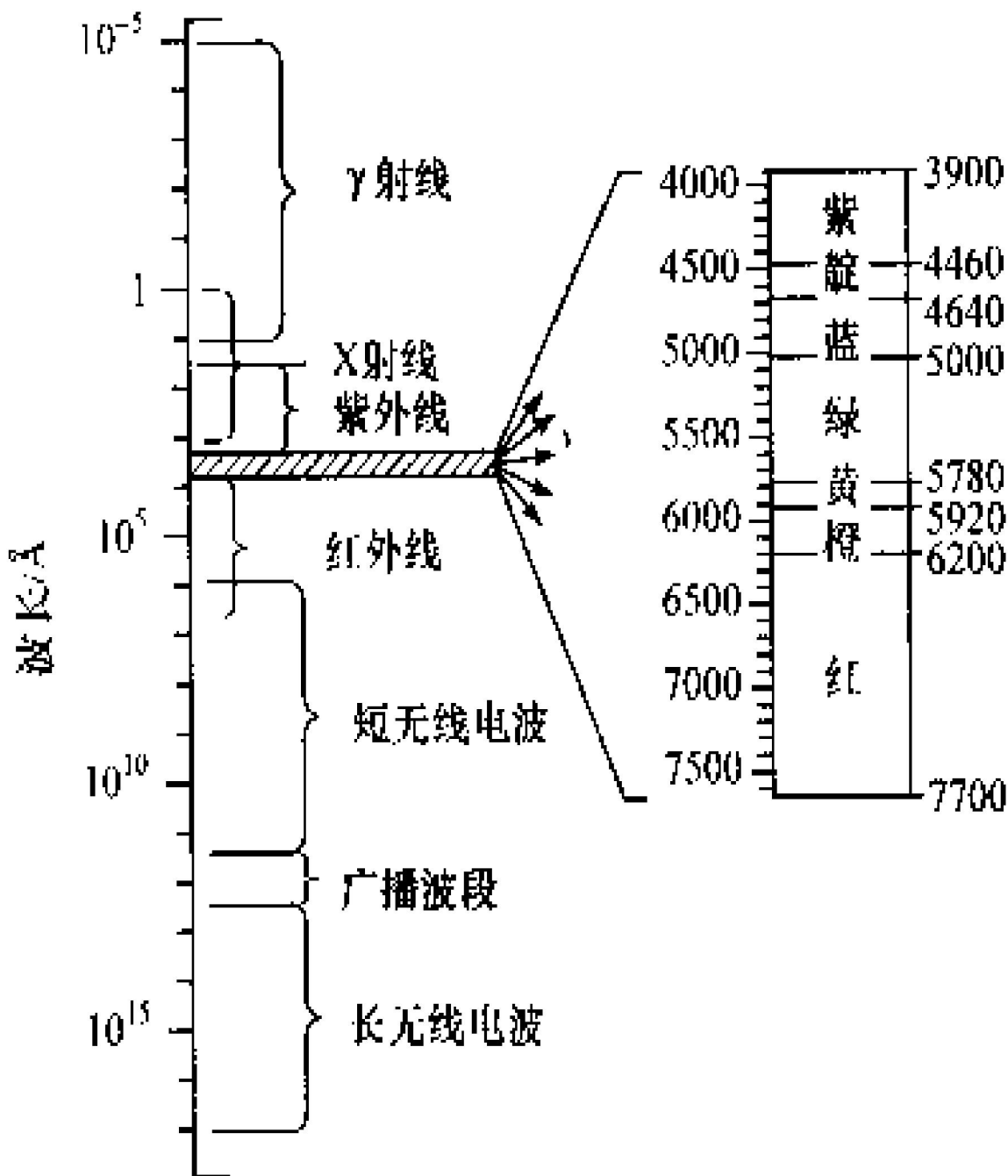
---

- **2. 波动性（电磁波谱）**
- 横波：电磁波在空间的传播过程中，电磁场振动方向垂直于其传播方向，因此光是横波。
- 电磁波谱：电磁波的范围极为广泛，包括无线电波、红外线、可见光、紫外线、x射线和  $\gamma$ 射线等。它们的本质完全相同，只是波长（或频率）不同而特性也不同。按照它们的波长大小依次排列便构成一个电磁波谱，如图2.1所示。





可见光：从电磁波谱中可以看出，可见光只是整个电磁波谱中波长范围很窄的一段，其波长约为3900~7700Å (1Å=10<sup>-10</sup>m, 1nm=10<sup>-9</sup>m)。  
红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫



- 
- 波长一定的光叫单色光。
  - “白光”实质上就是各种颜色的光按一定比例混合成的混合光。
  - 自然光和偏振光：根据光波的振动特点，光又可以分成自然光和偏振光两种。

- 自然光就是从普通光源发出的光波，如太阳光、灯光等。光是由光源中的大量分子或原子辐射的电磁波的混合波，光源中的每一个分子或原子在某一瞬间的运动状态各不相同，因此发出的光波振动方向也各不相同。
- 因此自然光的振动具有两方面的性质：
  - (1) 一方面它和光波的传播方向垂直.
  - (2) 另一方面它又迅速地变换着自己的振动方向，也就是说自然光在垂直于光的传播方向的平面内的任意方向振动.
- 如图2.2(a)所示。自然光各个方向上振动的概率相同，在各个方向上的振幅也相等。

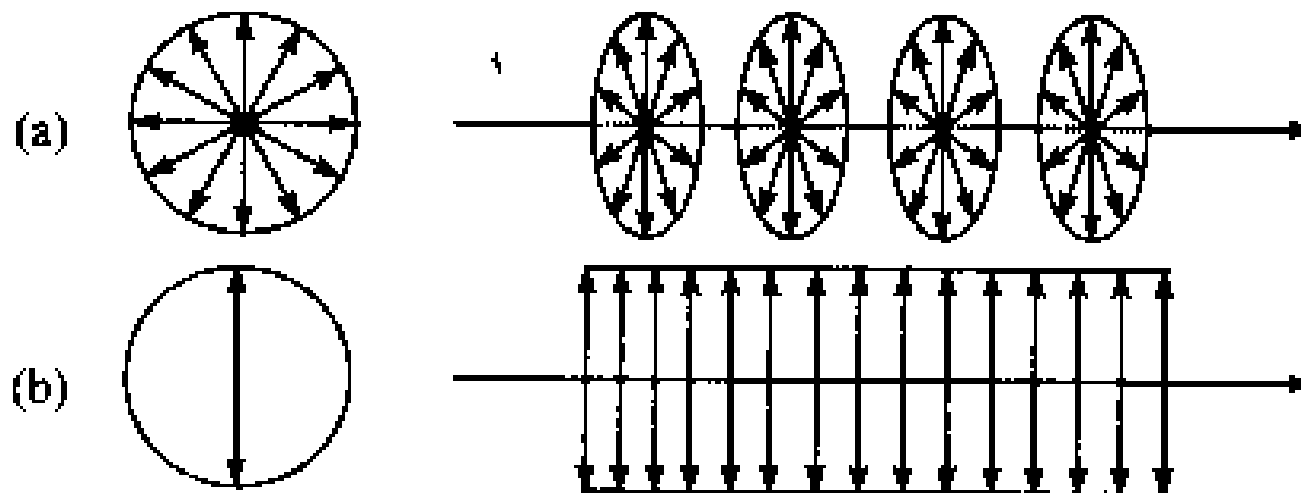
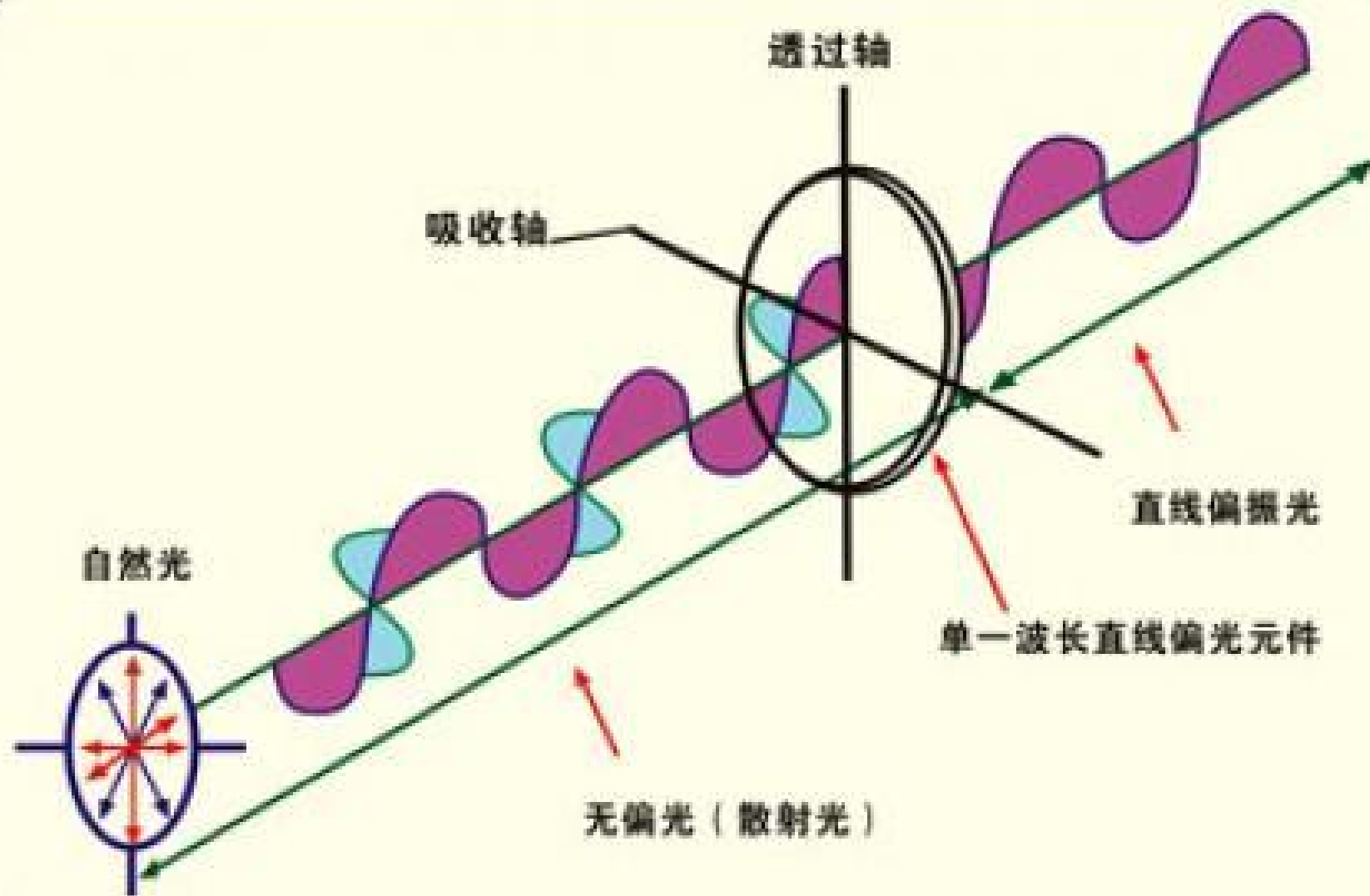


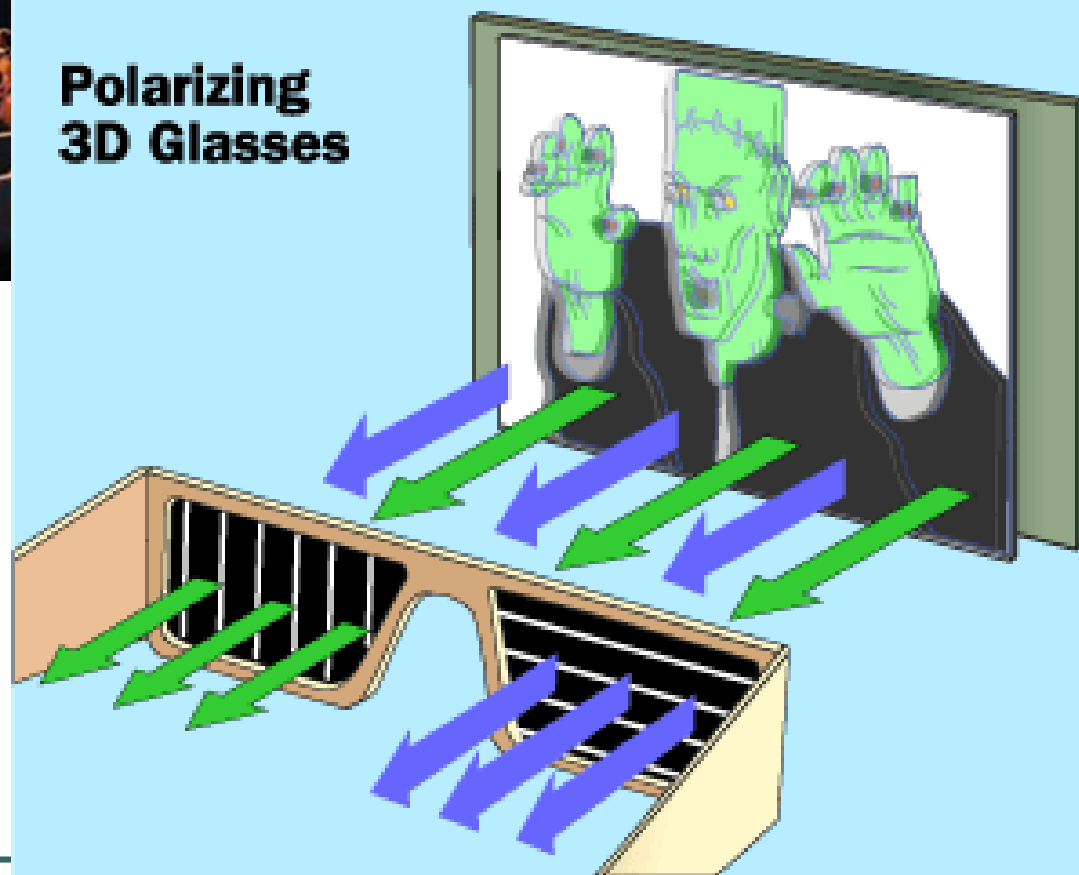
图2.2 自然光和偏振光振动示意图  
(a)自然光；(b)偏振光

- 
- 偏振光是自然光经过某些物质的反射、折射、吸收或其他方法，使它只保留某一固定方向的光振动，如图2.2(b)所示。
  - 偏振光的光振动方向与传播方向组成的平面称为振动面。由此也将偏振光称为平面偏光，简称偏光。





## Polarizing 3D Glasses





---

### 3. 光的强度

（波：振幅； 粒：光子数量）

- 在单位时间内，通过垂直于光传播方向单位面积的光的能量（ **$\text{J/m}^2\text{s}$** ）叫光的强度。

## 2.2 光与固体物质的相互作用

---

- 无论光是自然光还是偏光，入射到固体物质的表面，会产生光的折射、反射和吸收等现象。
- 反射光将按照反射定律反射回原介质中。而折射光将从一种介质传播到另一种介质中。

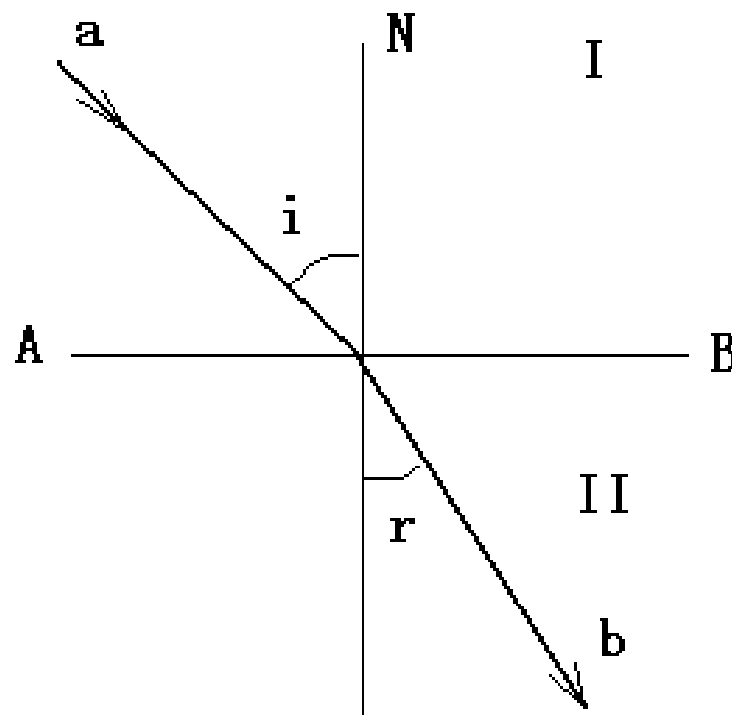
- 1. 折射率与光速

- 折射定律（图）：入射线、折射线和分界面的法线同面。

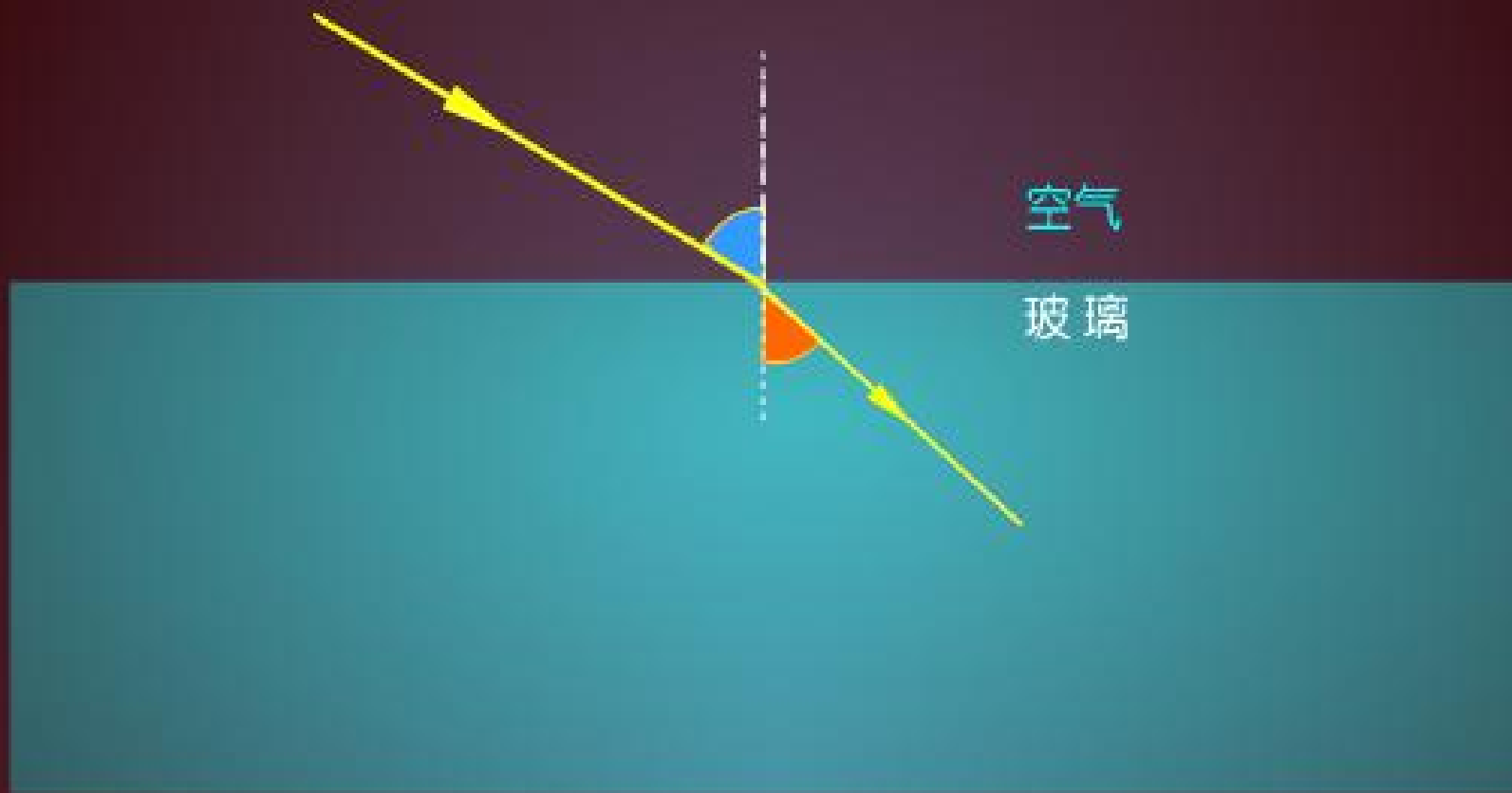
- $$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

- 光疏介质 → 光密介质

- $i > r$ , 光速变小



# 光的折射



实例  
光的折射

- 
- **光速：**从式(2.1)可以看出，介质中光传播的速度越大（光疏介质），则该介质的折射率越小；相反，如介质中光传播的速度越小（光密介质），则该介质的折射率越大。即介质的折射率与光在介质中的传播速度成反比（ $V_i / V_r = N_2 / N_1$ ）。

- 
- 光的固有属性为频率：光是具有一定频率（ $\nu$ ）振动的波。

- $V = \nu \lambda$  ( $c = \nu \lambda$ )

不同介质中，波长 $\lambda$ 在变化，波速 $V$ 随着变化（光速为 $1/n$ 倍），而频率 $\nu$ 不变；

- 光子能量 $E = h \nu$

（普朗克常数 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{JS}$ ）

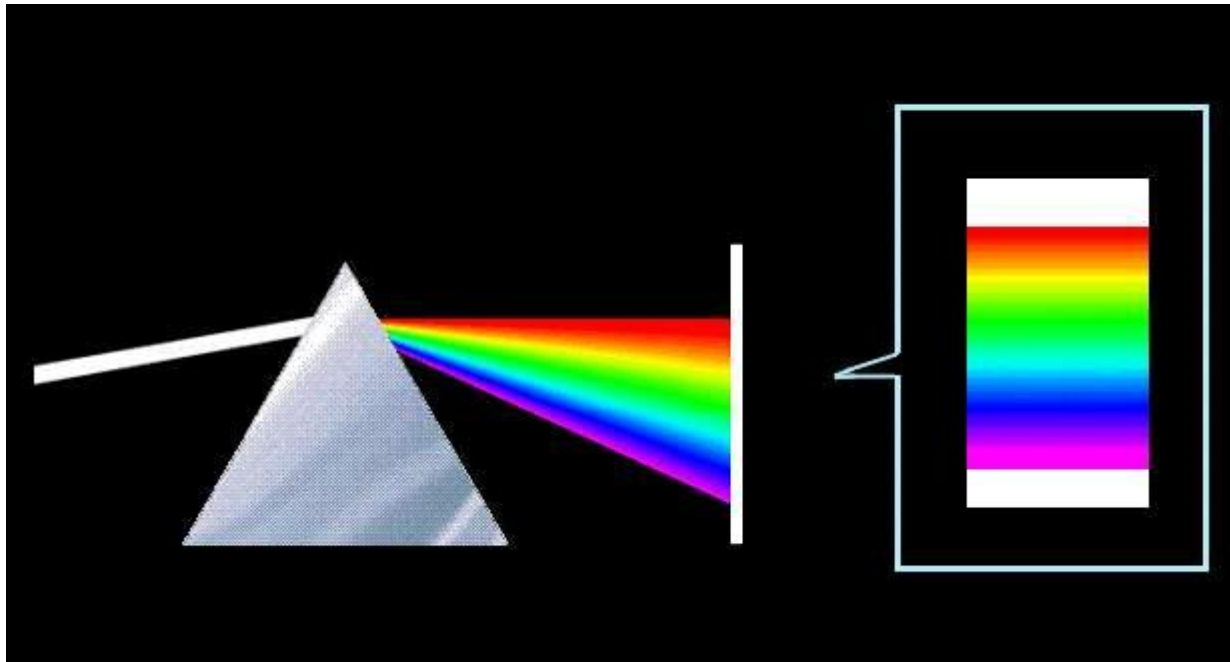
- 
- 例如：390nm波长的光，其光子能量E为3.2 eV，求其光速。

- $$V = v \lambda = \frac{E}{h} \cdot \lambda = \frac{3.2 \times 1.6 \times 10^{-19} J}{6.626 \times 10^{-34} J \cdot s} \cdot \lambda$$

$$= 7.7 \times 10^{14} / s \times \lambda(390 \times 10^{-9}) = 30.03 \times 10^4 \text{ km/s}$$

真空光速

- **色散：**同一介质的折射率因所用光波的频率而异，这种性质称为折射率色散。对于同一介质，光波的频率与折射率成正比。紫光频率最大，红光频率最小。





- 2. 光的反射

- 根据反射的基本定律，以反射表面法线为基准的入射角和反射角是相等的，入射光线、反射光线和反射表面法线处于同一平面上。
- 在精抛光平表面上可获得**镜面反射**(表面不平整度小于光波长)，而在粗糙表面上则呈**漫反射**。

## ● 全反射

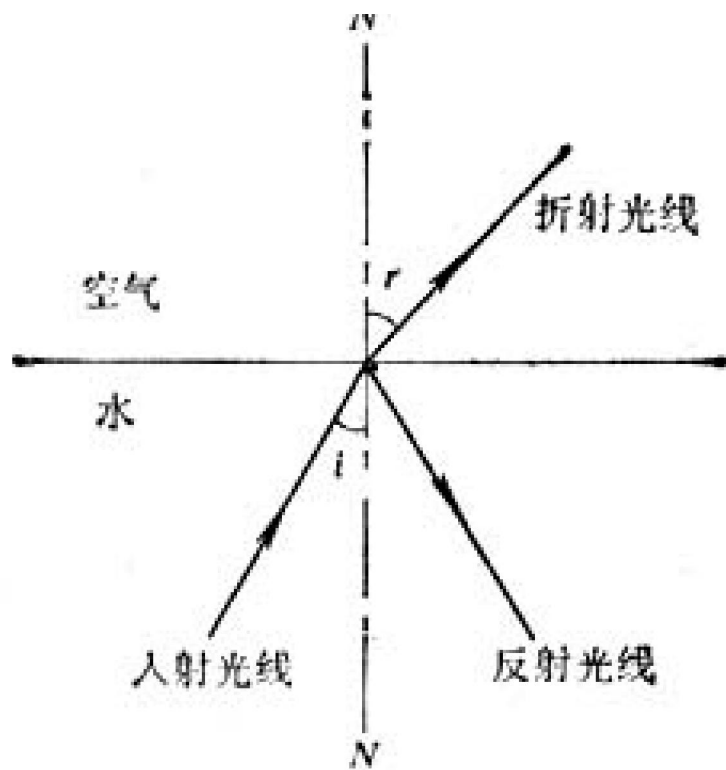


图 4-10



- 3. 光的吸收
- 主要是光的波动能转换为热能等其他形式的结果。

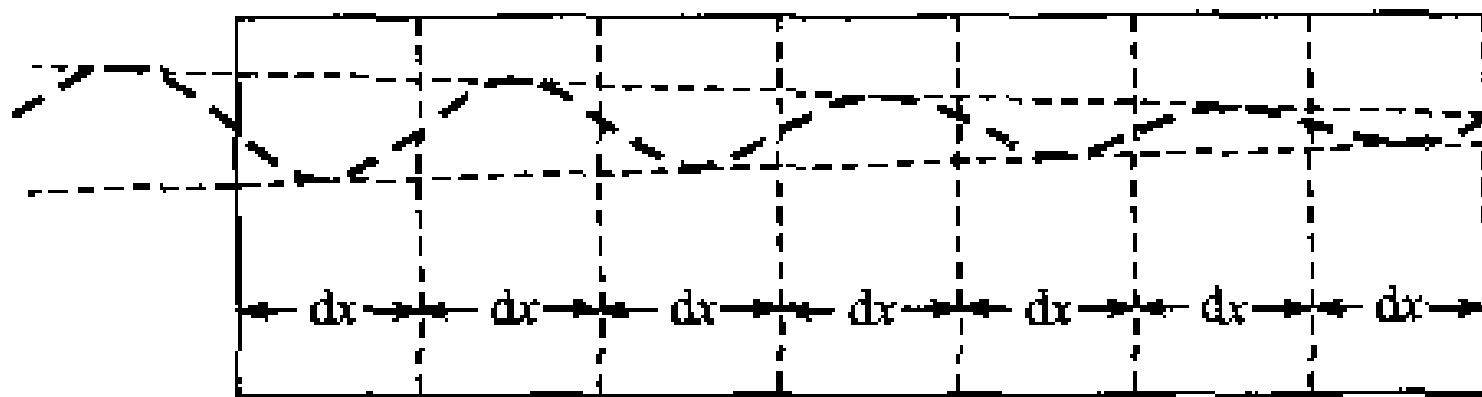


图 2.4 晶体对光的吸收

## 2.3 光在晶体中的传播

---

- 1. 光性均质体
  - 不改变光波的振动特点和振动方向。  
 $N$ 唯一。
- 2. 光性非均质体
  - 能够改变入射光波的振动特点，当入射光波为偏光时，也可以改变入射光波的振动方向。

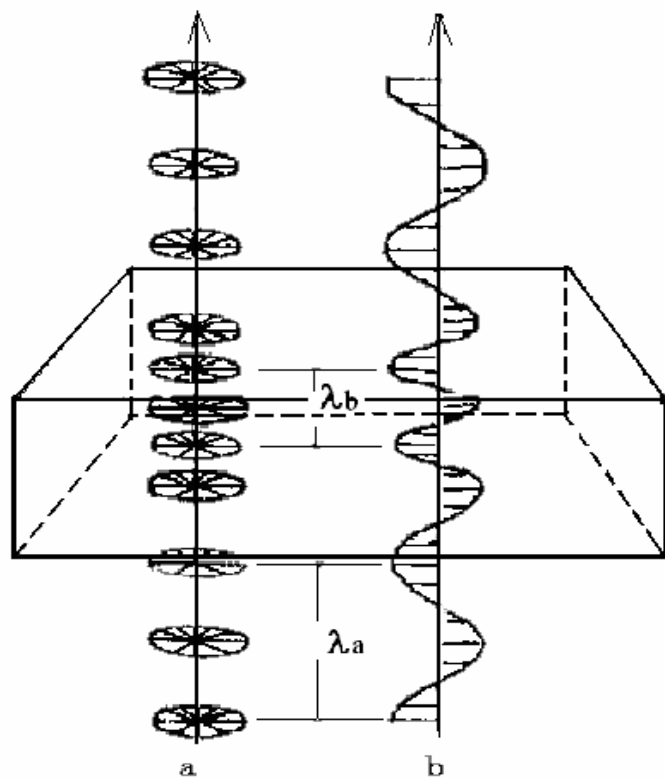


图2.6 光波垂直均质体薄片入射示意图

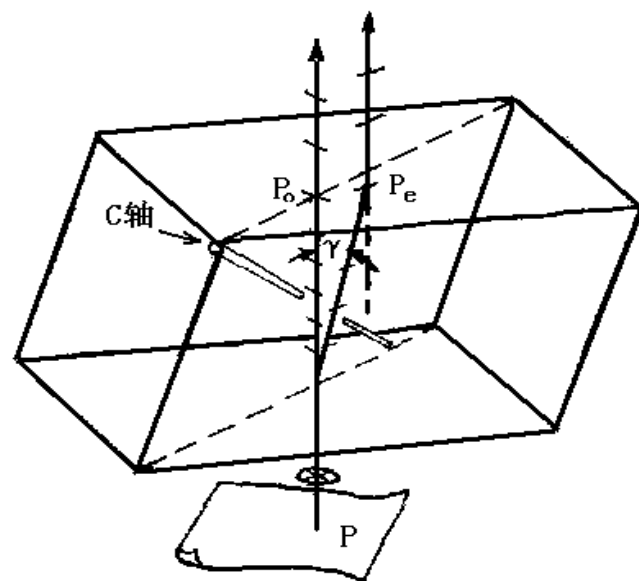


图2.7 冰洲石的双折射现象

## **3. 光学显微镜的成象原理**

---

- **3.1 衍射的形成**
- **3.2 阿贝成像原理**

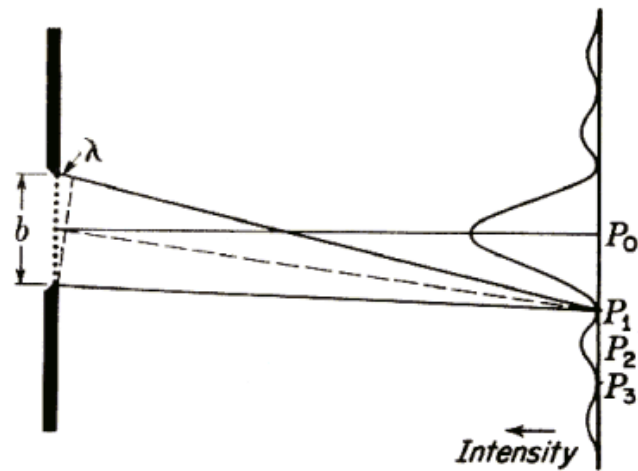
## 3.1 衍射的形成

---

- 物理光学把光视为一种电磁波，具有波粒二象性，即波动性和粒子性。
- 由于光具有波动性质，使得光波相互之间发生干涉作用，产生衍射现象。

# 狭缝实验

- 屏幕上的**P1**点到狭缝上边缘的距离和它到狭缝下边缘的距离之差为一个波长。
- 从狭缝上缘和从狭缝下缘发出的两列光波在**P1**点相互增强，但这两列光波不过是从连线**b**上发出的无数光波中的一对，其他任意两列光波到达**P1**点的波程差均小于一个波长。
- 整个狭缝内发出的光波的累计相干效果，是在**P1**点两侧造成一个光强的低谷，**P1**点位于谷底位置。
- 相反，在**P2**点处，从狭缝上缘和下缘发出的光波的波程差 $1\frac{1}{2}$ 个波长，**P2**成为相干增强区的中心，称为第一级衍射极大值。





# 衍射结果

衍射使物体上的一个点在成像的时候不会是一个点，而是一个衍射光斑。如果两个衍射光斑靠得太近，它们将无法被区分开来。



由斑点光源衍射形成的埃利斑 (a) 及其光强分布图 (b)

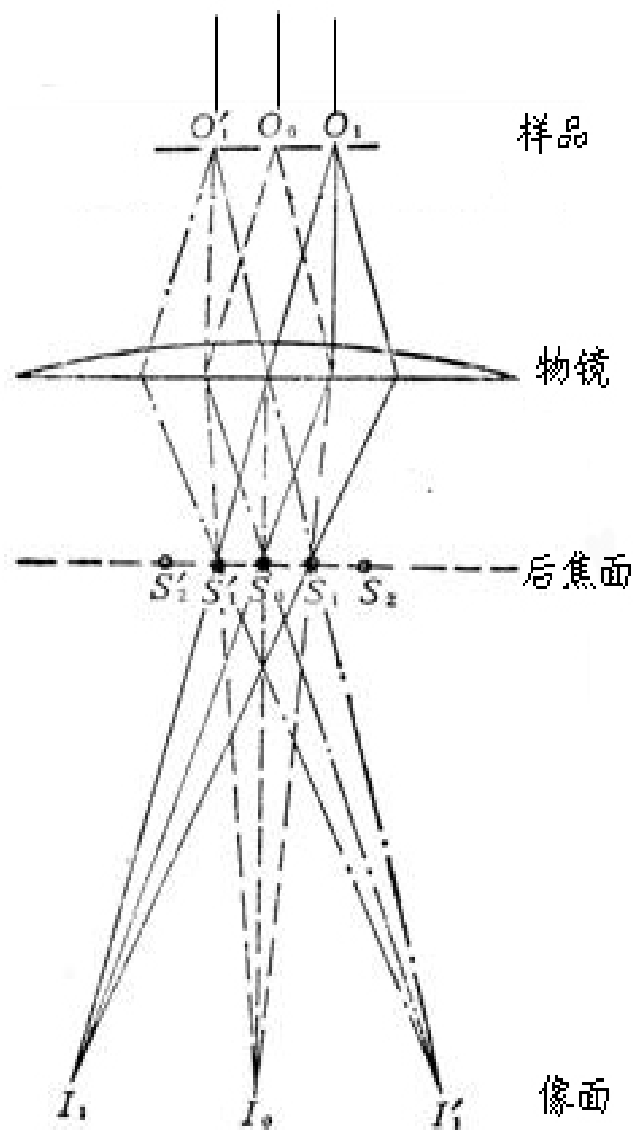
$$R_0 = \frac{0.61\lambda M}{n \sin \alpha}$$

点光源通过透镜产生的埃利斑第一暗环半径

式中  $n$  为介质折射率， $\lambda$  照明光波长， $\alpha$  透镜孔径半角， $M$  透镜放大倍数  
说明埃利斑半径与照明光源波长成正比，与透镜数值孔径成反比。

## 3.2 阿贝成像原理

- 对于周期性结构的物体，图像的形成用阿贝成像原理来解释。
- 光线通过细小的网孔时要发生衍射，衍射光线向各个方向传播，凡是光程差满足 $k=0, 1, 2, \dots$ 的，互相加强。同一方向的衍射光则成为平行光束。
- 平行光束通过物镜在后焦面上会聚；形成衍射花样。衍射花样上的某个衍射斑点是由不同物点的同级衍射光相干加强形成的；同一物点上的光由于衍射分解对许多衍射斑点有贡献。
- 从同一物点发出的各级衍射光，在产生相应的衍射斑点后继续传播，在象平面上又相互干涉，形成象。



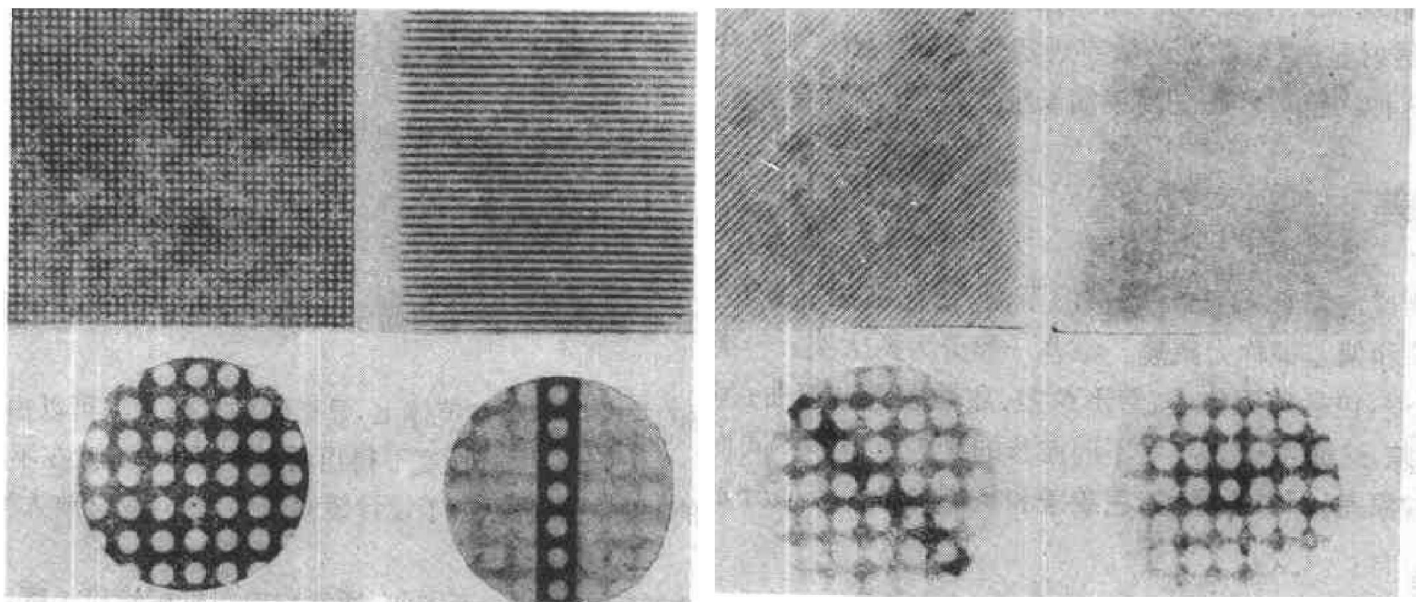
# 阿贝成像原理

---

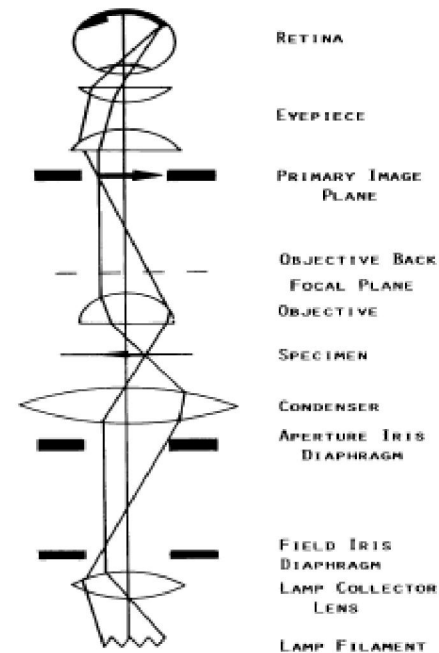
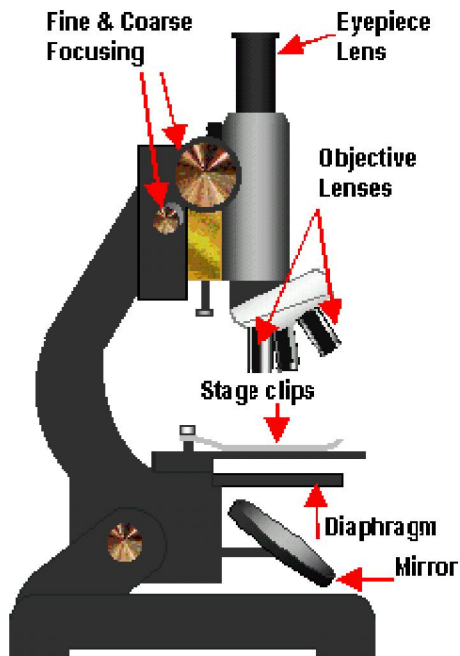
- 阿贝成像原理可以简单地描述为两次干涉作用：平行光束受到有周期性特征物体的散射作用形成衍射谱（后焦面），各级衍射波继续传播重新在像平面上形成反映物的特征的像。

# 物与象之间的相似性

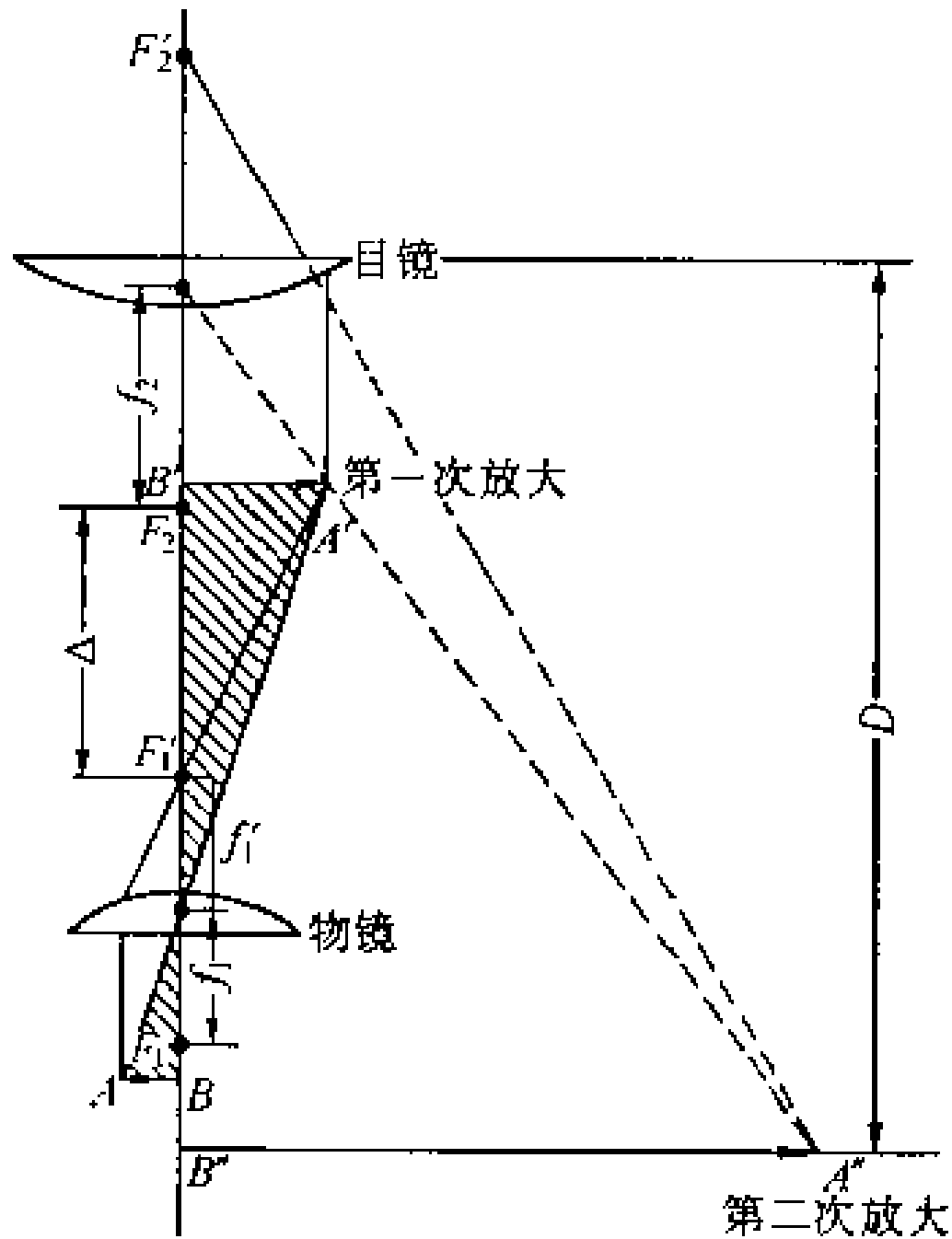
- 物象是由直射光和衍射光互相干涉形成的，不让衍射光通过就不能成象，参与成象的衍射斑点愈多，则物象与物体的相似性愈好。



## 4. 光学显微镜的构造和光路图



- $M_{\text{总}} = M_{\text{目}} \times M_{\text{物}}$



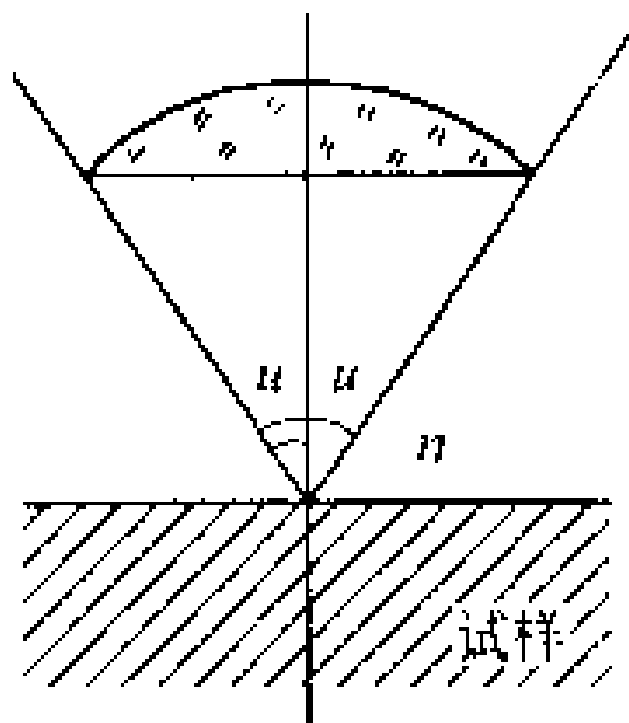
## 5. 显微镜的重要参数

---

- 5.1 数值孔径
- 5.2 分辨率
- 5.3 放大率和有效放大率
- 5.4 景深
- 5.5 工作距离与视场范围
- 5.6 光阑
- 5.7 光学透镜的象差

## 5.1 数值孔径

- 数值孔径（**NA**）对物镜，由其结构决定了焦距和光孔直径，由 $2\alpha$ 角内光进入物镜，设物镜与观察物间的介质折射率为 $n$ ，则 $n \sin \alpha$ 叫做物镜的数值孔径。
- 孔径角是物镜光轴上的物点与物镜前透镜的有效直径所形成的角度。孔径角越大，进入物镜的光通亮就越大，分辨率越高。孔径角与物镜的有效直径成正比，与焦点的距离成反比。





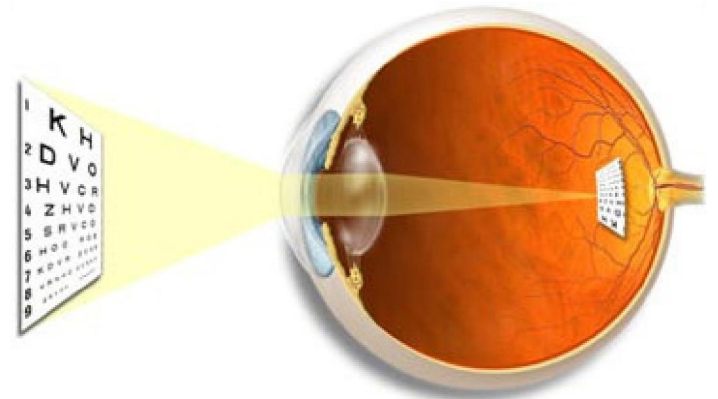
- 物镜接收衍射光线的能力也强烈的依赖于在样品与镜头之间的介质。因此，数值孔径的概念更加能够有效的描述物镜的成像能力。
- 数值孔径大小表征了物镜的聚光能力，它是金相显微镜一个很重要的参数。
- **NA**值越大，物镜聚光能力越强，从试样上反射时入物镜的光线越多，从而提高了物镜的分辨能力。

- 提高数值孔径的途径： $n \sin a$
- （1）一是增大透镜直径或聚焦能力，以增大孔径半角 $a$ ，但此法导致象差增大和制造困难，故不实用。
- （2）另一种方法是增加物镜与观察物间的折射率 $n$ （如浸油物镜）。
- （3）在相同介质中，波长短的光源有较大的折射率，同样也将有较多的衍射光进入物镜（如利用紫光分析）。

## 5.2 分辨率

### 1. 人眼的分辨率 deye:

- 人眼最敏感波长: 550nm 黄绿光;
- 人眼瞳孔直径约: 3mm;
- 人眼明视距离: 250mm;
- 人眼在明视距离内能看清的两点之间的极限视角: 为  $2' \sim 4'$ 。
- 因此, 一般照度下, 明视距离内人眼的分辨率为:  
 $\text{deye} = 0.15 \sim 0.3 \text{mm}$



## 2. 显微镜的分辨率 $d$

---

指仪器分辨两个物点的本领。

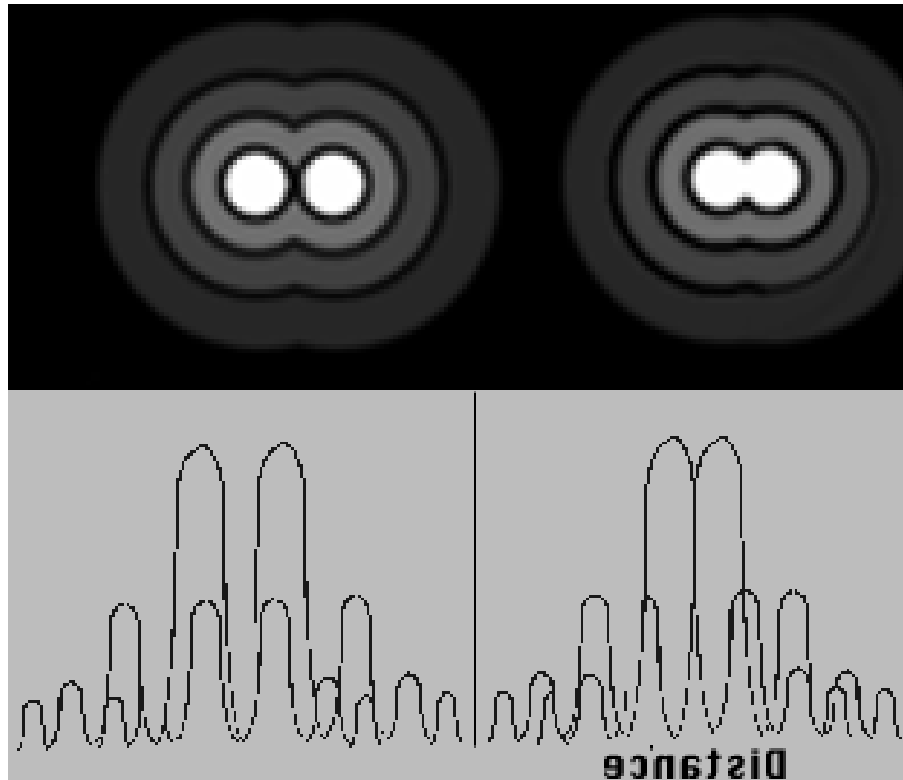
显微镜的分辨率最高只能达到物镜的分辨率，故物镜的分辨率又称显微镜的分辨率。

分辨两个物点间的距离 $d$ 越小，则分辨率越大。

### 3.光学显微镜的分辨率极限

---

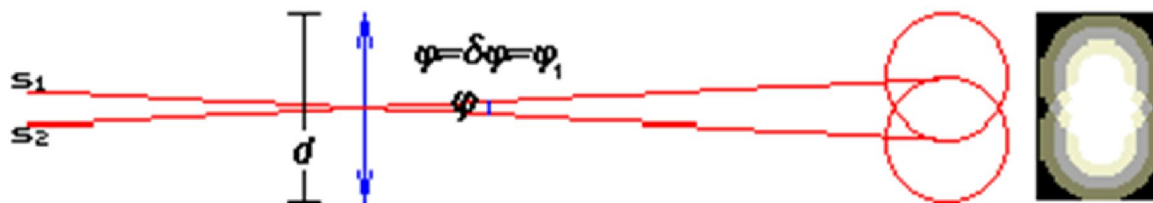
- 样品上相应的两个物点间距离 $d$ 。定义为透镜能分辨的最小距离，也就是透镜的分辨本领。
- 由于衍射效应的存在， $\rightarrow$ 像为一定尺寸的光斑。衍射斑 $\rightarrow$ 埃利斑。
- 通常埃利斑是以第一暗环处的半径 $R_0$ 来衡量其尺寸的。



瑞利判据：两埃利斑中心间距等于第一暗环半径 $R$ 。  
此时，两中央峰之间叠加强度比中央峰最大强度低**19%**，  
因此肉眼仍能分辨是两个物点的像



能分辨



恰能分辨



不能分辨

d

R

---

- $d_o = R_o / M$

$$R_o = \frac{0.61\lambda M}{n \sin \alpha}$$

$$d_o = \frac{0.61\lambda}{n \sin \alpha}$$

- 分辨本领是由物镜的**NA**值与照明光源的波长两个因素决定，**NA**值越大，照明光线波长越短，分辨率就越高。



## 理论分辨率

---

- 可见**NA**越大或  $\lambda$  越小（紫光），物镜的分辨能力越高。
- 干燥空气 **$n=1$** ，较小。若介质为松柏油则折射率 **$n=1.5$** 左右，
- 从技术方面来看，玻璃透镜的孔径半角可以做得很大，最大者可达 **$\alpha=75^\circ$** ；此时计算出的数值孔径**N.A**约为**1.25~1.35**。由此，式(1-6)可以写成：

## 理论分辨率

---

- $d = \lambda/2$  (1-7)
- 可见光的波长范围为390--760nm，若用可见光中波长最短的紫光照明，则分辨率可达**200nm**左右，达到传统光学显微镜的分辨率极限——瑞利判据。

## 5.3 放大倍数和有效放大倍数

---

- 由于经过物镜和目镜的两次放大，所以显微镜总的放大倍数  $M_{\text{总}} = M_{\text{目}} \times M_{\text{物}}$
- 有效放大倍率：在显微镜中保证物镜鉴别率充分利用时所对应的显微镜的放大倍数，用  $M_{\text{有效}}$  表示。。
- 问题：如果用物镜  $100\times$  和目镜  $30\times$ ：为3000倍放大。行不行？

- 物镜的分辨率最高只有 $0.2\mu\text{m}$ ，而人眼能分辨的距离为 $d_{\text{eye}}=0.15\sim 0.3\text{mm}$ 。所以显微镜的放大必须让人的眼睛能够看到：
- $M_{\text{有效}} = \frac{d_{\text{eye}}}{d} = \frac{d_{\text{eye}}}{0.61\lambda} \cdot NA$
- 将 $d_{\text{eye}}=0.15\sim 0.3\text{mm}$ ,
- $\lambda=0.55\mu\text{m}$ （可见光平均波长）绿光代入得： $M = (447\sim 894) NA$
- 简单记做： $M = (500\sim 1000) NA$

- $M_{\text{有效}}$ 要从目、物镜的配合得到。

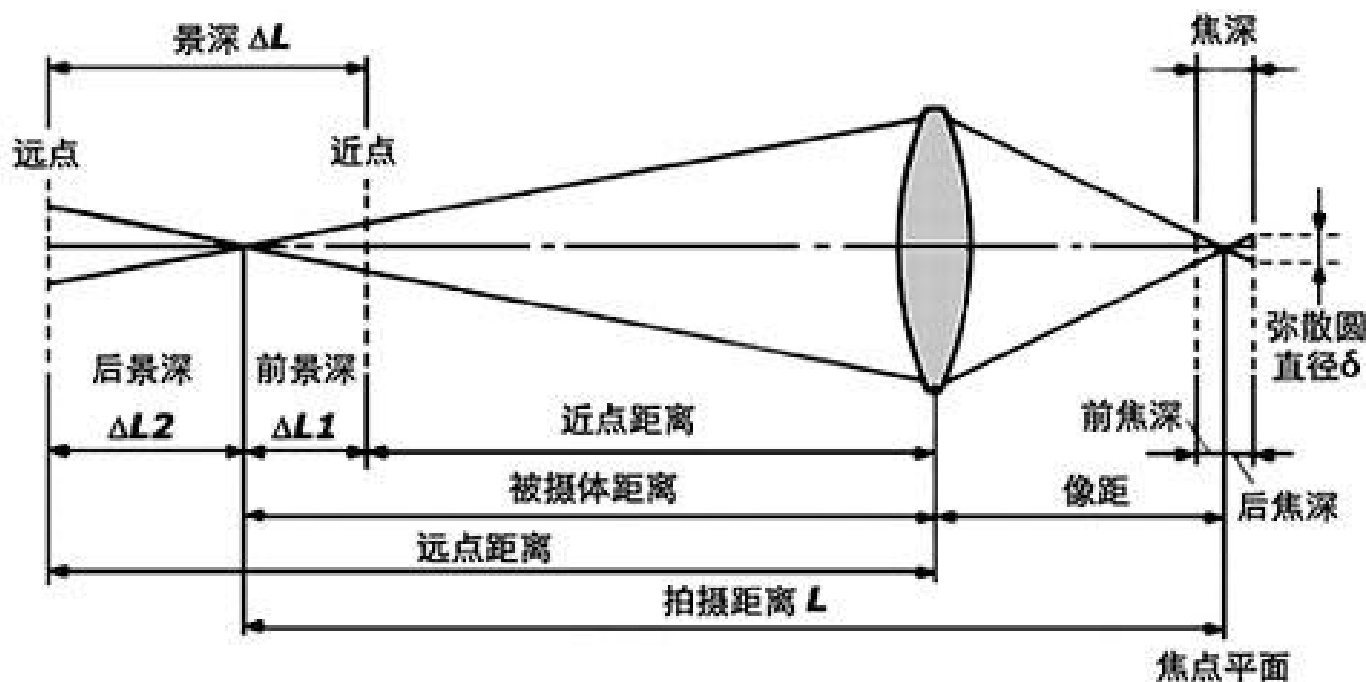
$\left\{ \begin{array}{l} M < 500NA \text{时, 物镜作用发挥不充分} \\ M > 1000NA \text{时, 虚放大。} \end{array} \right.$

例题：有一物镜 $40\times/0.65$ ，求目镜配合？

计算得有效 $M_{\text{有效}}$ 为325—650之间，则目镜选择为8—16倍。

## 5.4 景深

- 景深又称垂直分辨率，是指在固定像点情况下，成像物面沿轴向移动仍能保持图像清晰的范围。
- 它表征物镜对应于不同平面上样品细节能否清晰成像的一个性质。
- 景深的大小由满意成像的平面的两个极限位置(位于聚焦平面之前和之后)之间的距离来度量。



- 若人眼分辨能力为0.15~0.30mm， $n$ 为目的物体所在介质的折射率， $NA$ 为物镜数值孔径， $M$ 为显微镜放大倍数，则景深 $h$ 可表示如下

$$\frac{n}{(NA) \cdot M} \times (0.15 \sim 0.30)mm$$

- 如要求较大的景深，最好选用数值孔径小的物镜，或减小孔径光阑以缩小物镜的工作孔径，但是降低了显微镜的分辨能力。这两个矛盾因素，只能视具体情况决定取舍

## 5.5 工作距离与视场范围

---

- 工作距离（WD）：显微镜准确聚焦状态下，样品表面与物镜前端之间的距离叫工作距离。
- 如：标准消色差物镜  $10\times$  WD为7.7mm;  
 $100\times$  WD为0.1mm。
- 视场范围：在试样表面上观察到的区域大小。
- 普通物镜，放大的实像直径为18mm，则对 $10\times$ ， $100\times$ 物镜来讲，试样直径是1.8mm和0.18mm的区域。视场范围越大，观察区域也就越大。



## 5.6 光阑

---

- 一般显微镜有两个光阑：

孔径光阑 与 视场光阑

- 孔径光阑： 大，光多，亮， $NA\uparrow$ ，景深 $\downarrow$ ，清晰度 $\downarrow$ 。（经验证明，适合的孔径光阑为直径3~5mm之间）
- 视场光阑： 改变观察区域的范围，对分辨率无影响。 但可以增加衬度。（视场光阑应尽量缩小，直到其大小和目镜的视域范围相同）

## 5.7 光学透镜的象差

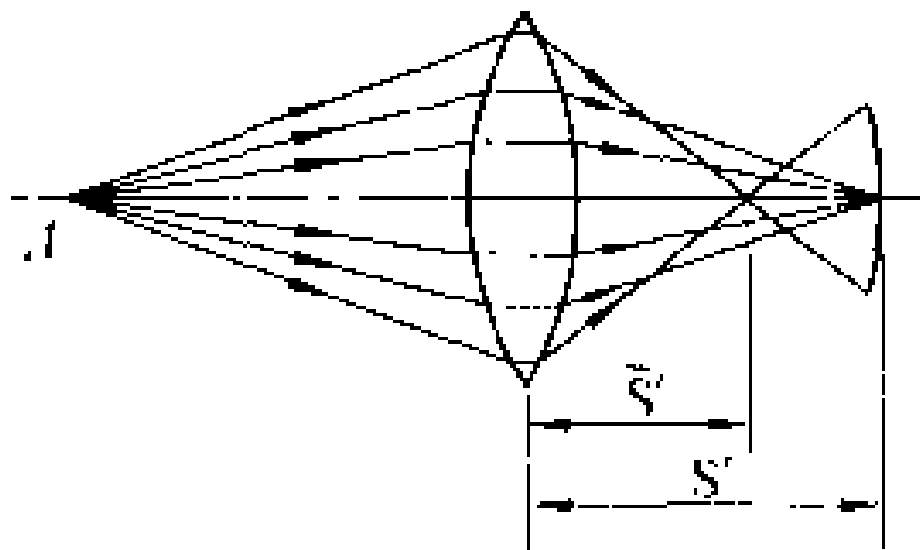
### 1. 像差

透镜在成像过程中，由于透镜本身物理条件限制，使像变形和模糊，称像差。

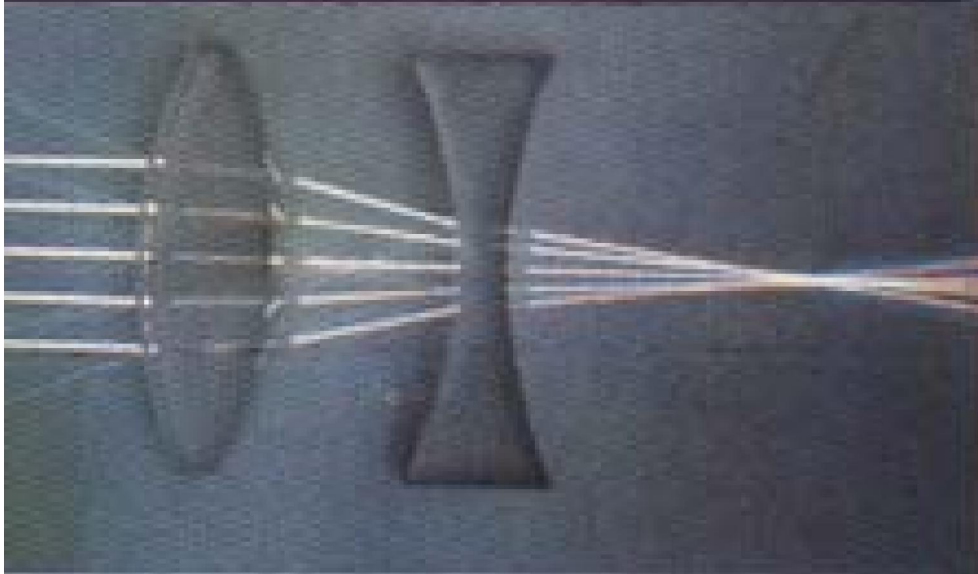
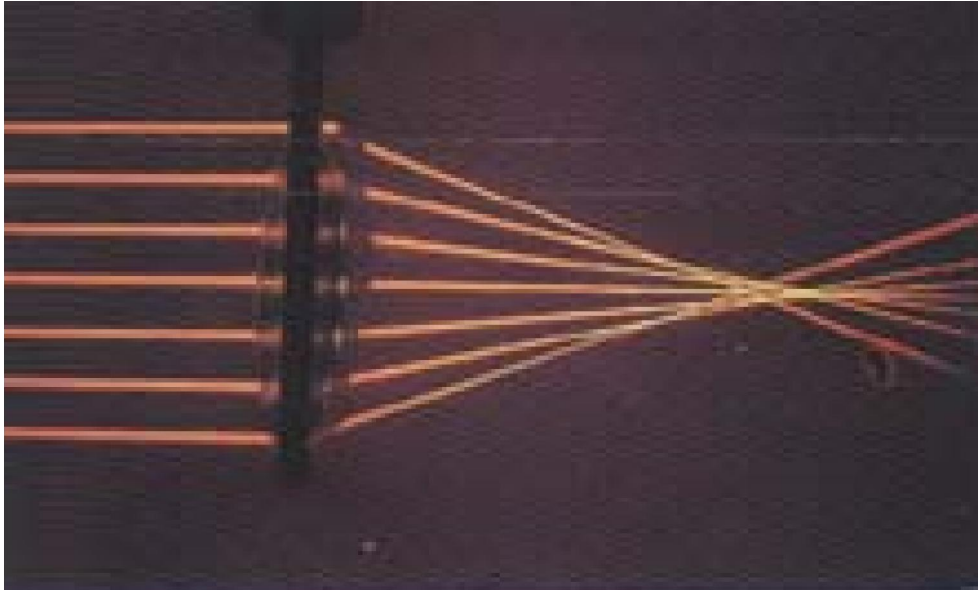
- (1) 球面象差  
(简称球差)

近轴光远聚焦，  
远轴光近聚焦。

球差用 $LA=S'-S''$ 表示，  
正透镜 $LA>0$ ，  
负透镜 $LA<0$ 。



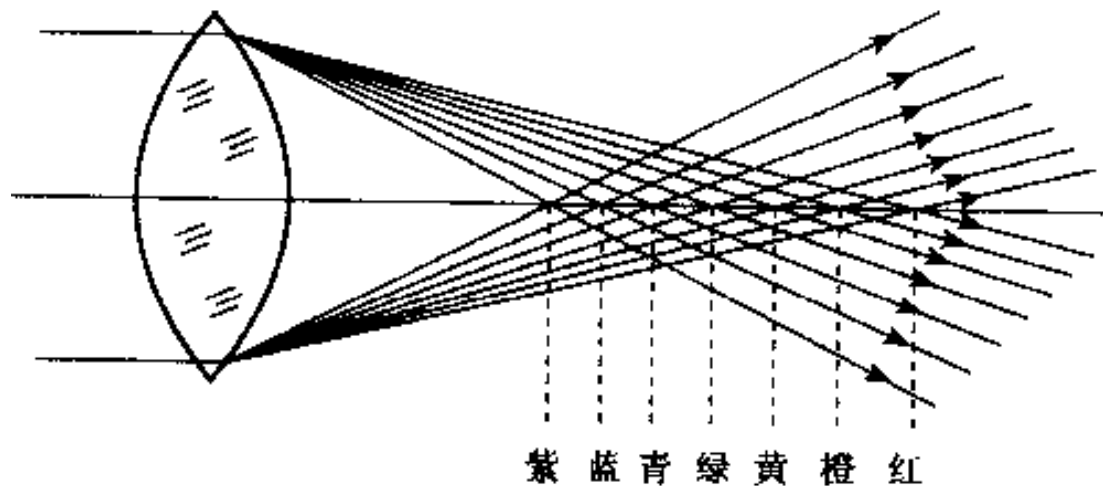
边缘与中心部分的折射光不能通过会聚相交于一点



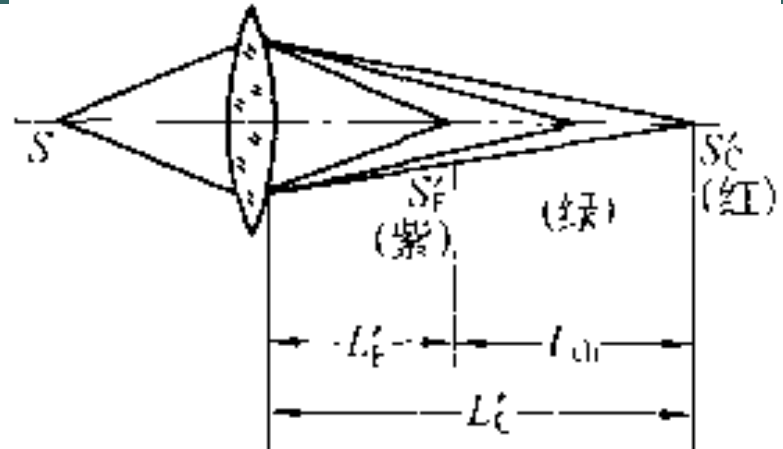
# 光学透镜的象差

- (2) 色差

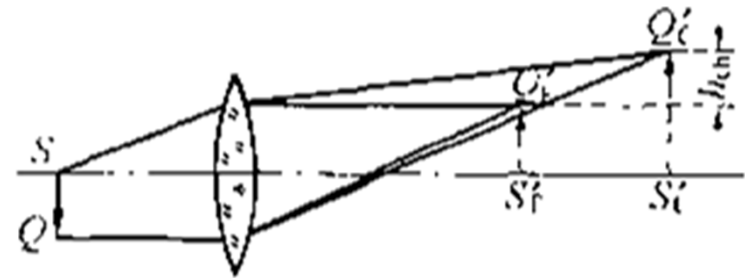
由于组成白光的各色光波长不同，折射率不同，不同波长的光在不同的位置聚焦，形成像差。

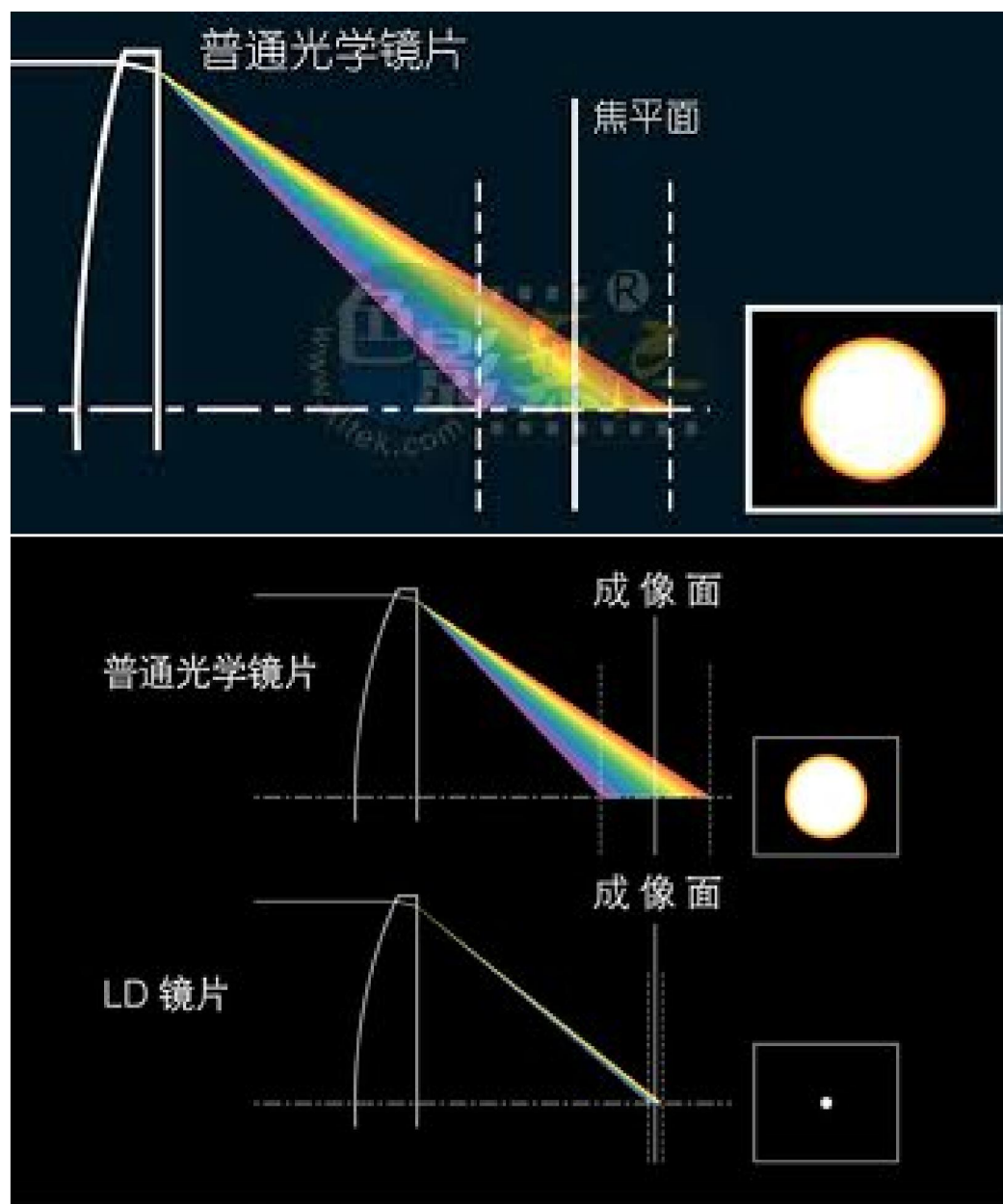


- 轴向色差:
- 短波 近点聚焦
- 长波 远点聚焦



- 垂轴色差:
- 红光高，而紫光低。影响图像的清晰度。



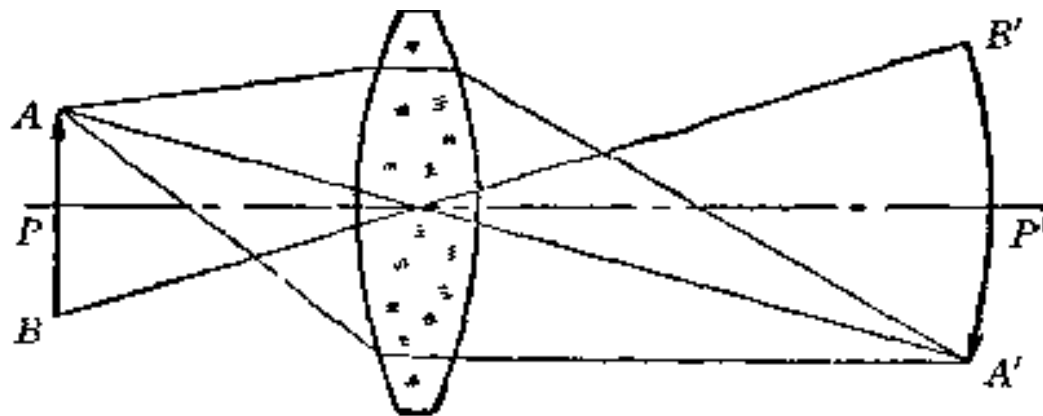


普通光学玻璃和LD 低色散玻璃镜片的色散校正性能差异

# 光学透镜的象差

- (3) 象域弯曲

垂直于光轴的直立的物体经过透镜后形成一弯曲的象面，称为象域弯曲。



象域弯曲是几种象差综合作用的结果

---

## ● 2. 像差的消除

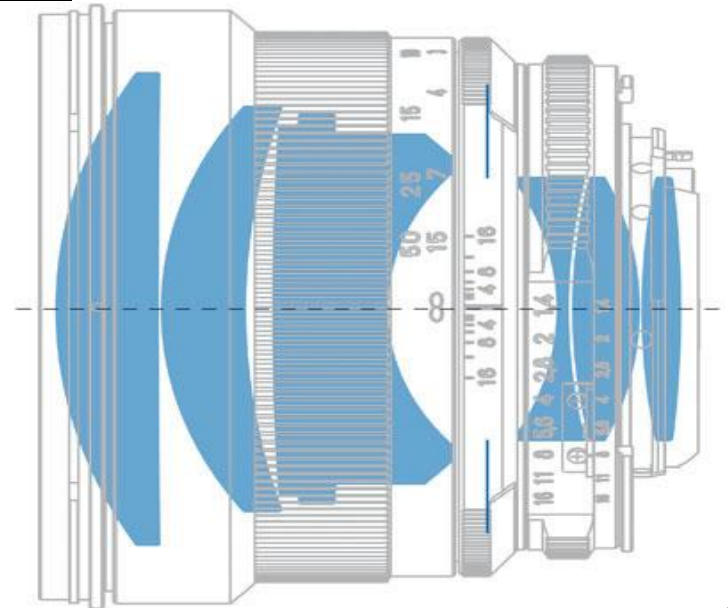
- 像差的消除主要是通过显微镜的物镜完成的。显微镜中的透镜都是由一组透镜组成物镜或目镜。
- 位于最前的凸透镜担负放大的作用，而后继的透镜组都是为了消除各种像差而安置的。（矫正透镜）
- 一门复杂的学问



- 影响金相显微镜成像质量的像差主要是：  
球差、色差和像场弯曲。

其中：

球差和色差 影响像的中央部分像质，  
像场弯曲对 影响像边缘。



- A. 消色差物镜（最简单）  
一般不标
- B. 复消色差物镜  
FC40×/0.65
- C. 平面消色差物镜  
PC40×/0.65
- D. 平面复消色差物镜  
PL100 ×/1.25

	色差	球差	弯曲
A	红、绿	黄、绿	未
B	全色	紫、绿	未
C	同A	同A	校正
D	同B	同B	校正



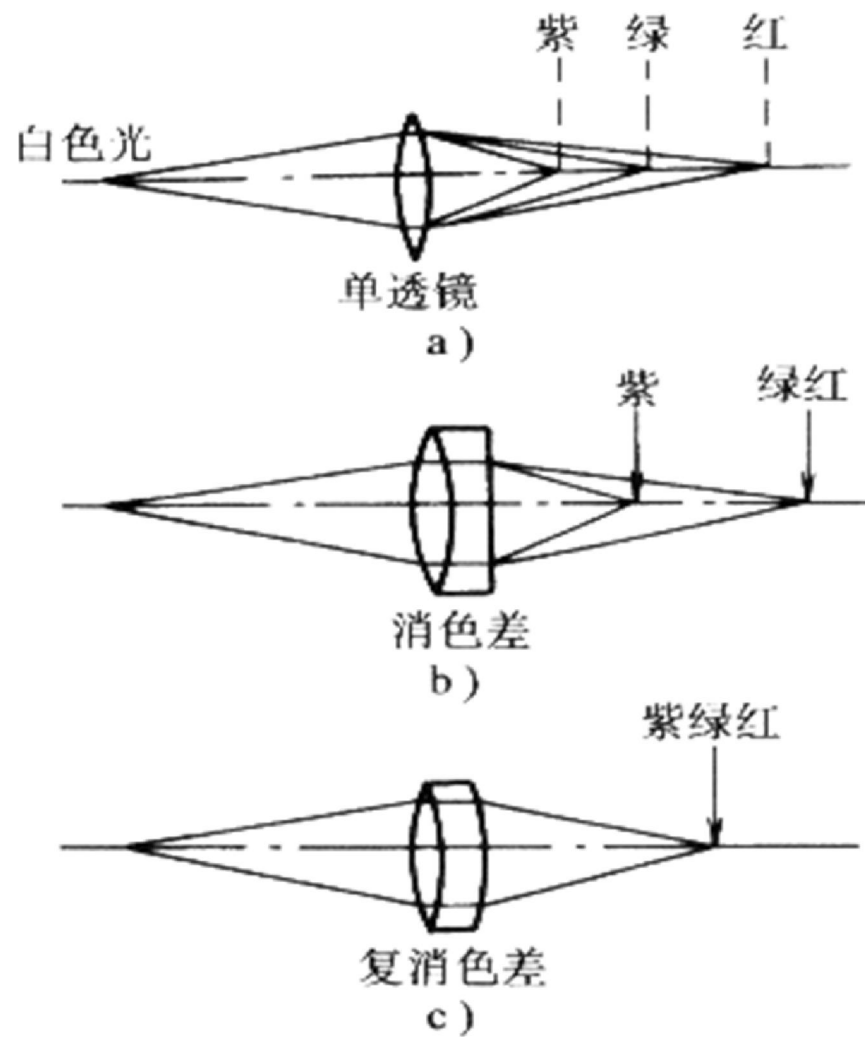


图2—2 不同物镜对色差的校正示意图  
a) 单透镜色差未校正 b) 消色差物镜  
c) 复消色差物镜

## 6. 光学显微镜的工作方式

---

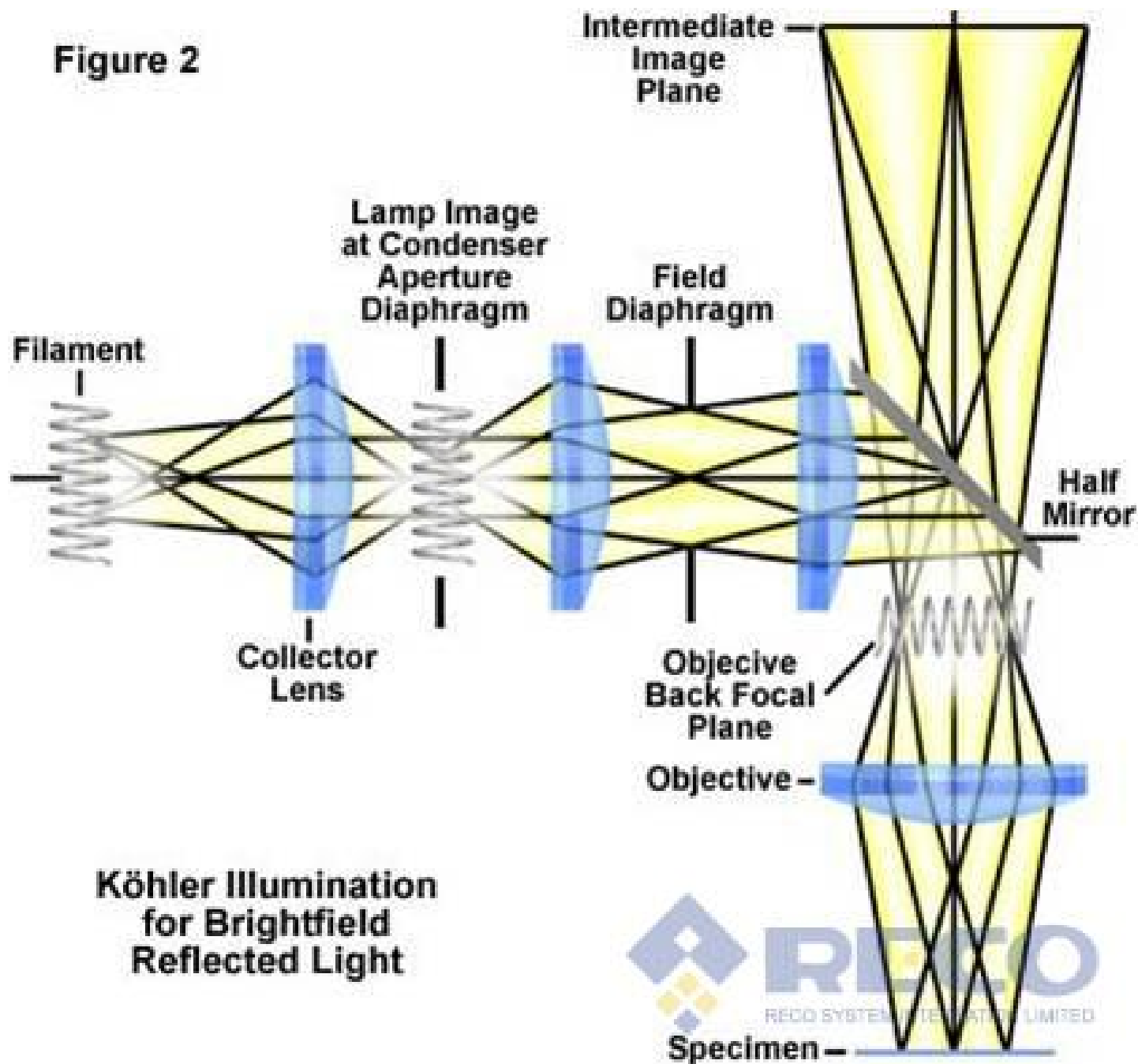
- 6.1 明场照明术
- 6.2 暗场照明术
- 6.3 偏振光照明术
- 6.4 相衬分析

## 6.1 明场照明术

---

- 光线通过物镜均匀垂直照射到试样表面，相对讲光线充足，视场明亮，试样上不同表面平整状态以及物相的不同反射能力和颜色等则造成不同的明暗反差和颜色反差。
- 在金相显微镜的光学系统中，配置了孔径光阑和视场光阑。正确的调节他们，可以充分发挥物镜的分辨能力，并兼顾景深，获得具有良好衬度的图像。

**Figure 2**



## 6.2 暗场照明术

---

- 在明场照明时，平整的表面明亮，倾斜的表面暗。但是，有时为了看清试样表面上的裂纹、凹陷、交界面及细小的浮雕微粒（夹杂物）等部位，将入射光按图中方式从物镜外暗场反射镜照到试样上，平整面的光全部反射到物镜以外，没有光线进入，只有在不平整的裂纹、凹陷、交界面及细小的浮雕微粒的部位散射光线才有可能射入物镜，呈现为明亮色。

## Cardioid Darkfield Condenser

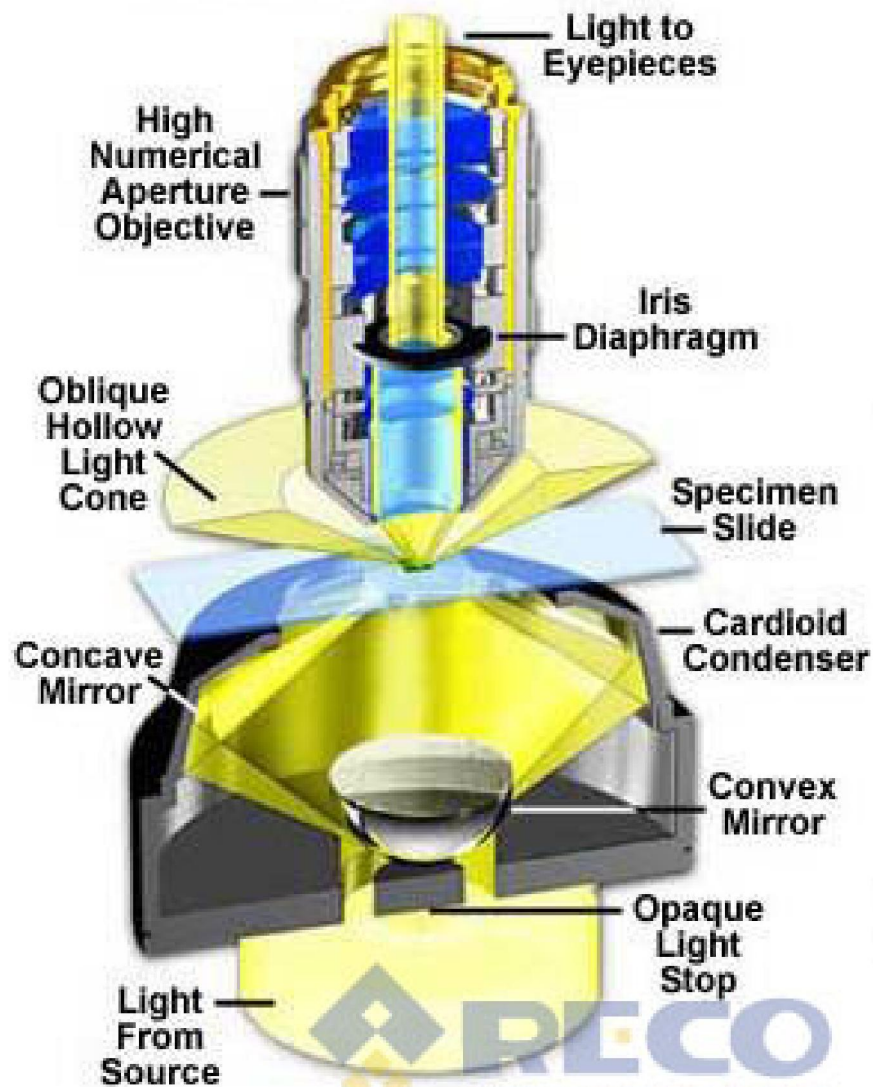


Figure 1

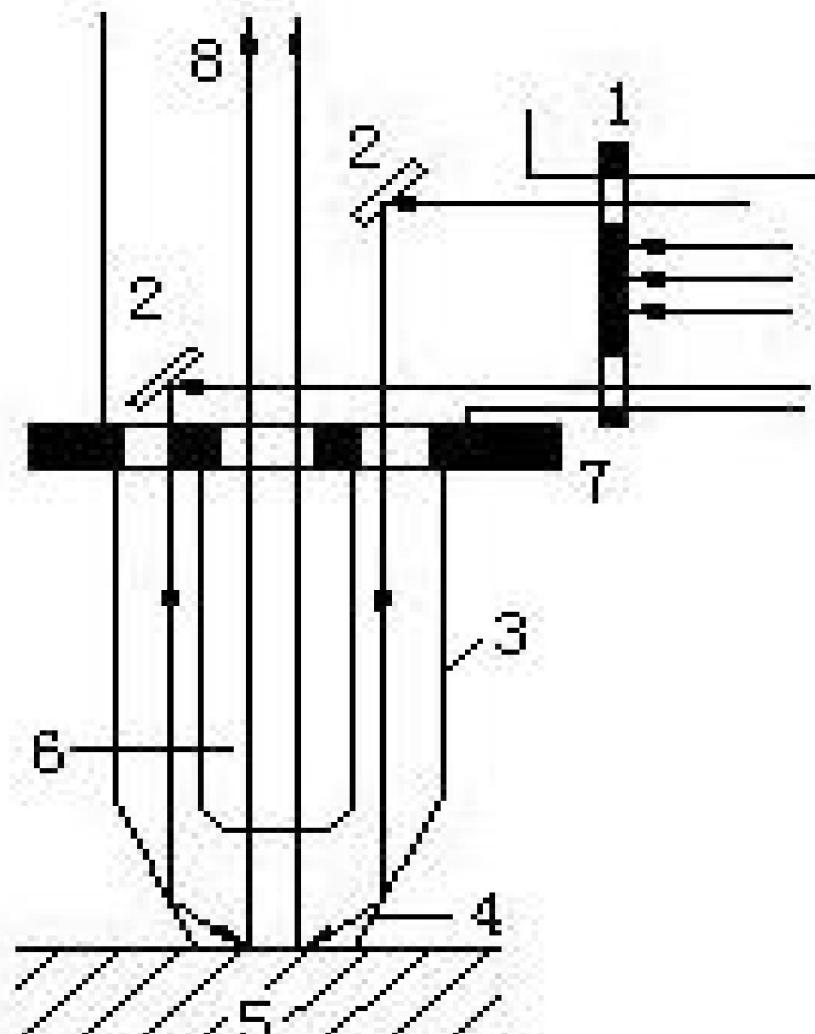


图2.34 暗场照明器示意图

1. 环状光圈, 2. 环状反射镜, 3. 暗场聚光器, 4. 暗场聚光器的反射面, 5. 光片磨光面, 6. 物镜, 7. 暗场聚光器固定板, 8. 反射光线



## 6.3 偏振光照明术

- 一个偏振元件放置于入射光光路上使照射到试样的光线成为平面偏光，经试样反射，仍为偏振光，一个检偏振片置于目镜前的光路上（可旋转），检验反射光。
- 所谓正交偏光镜，就是起偏光镜和检偏光镜联合使用，并且两偏光镜的振动面处于相互垂直位置。消光现象：晶体在正交偏光镜下呈现黑暗的现象。

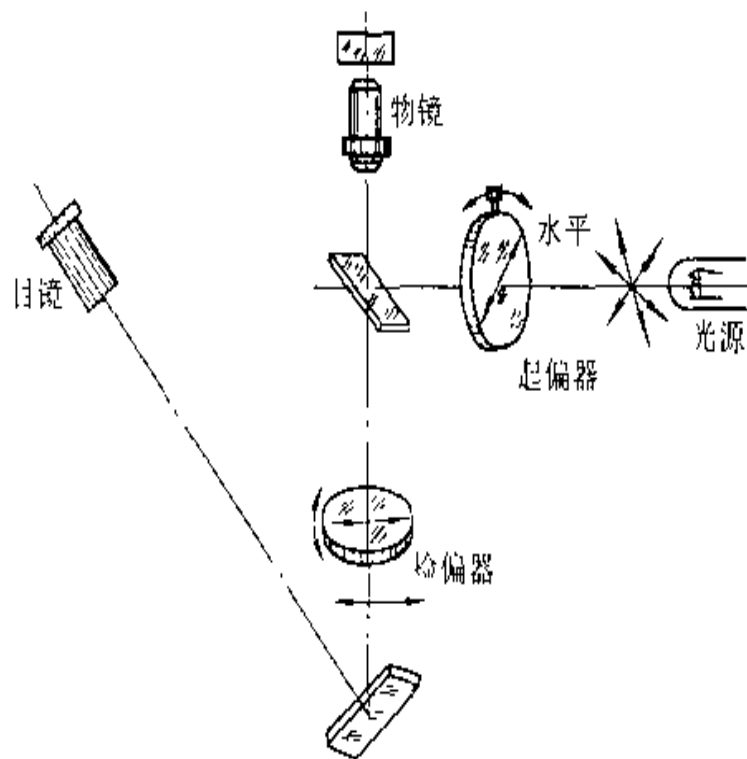
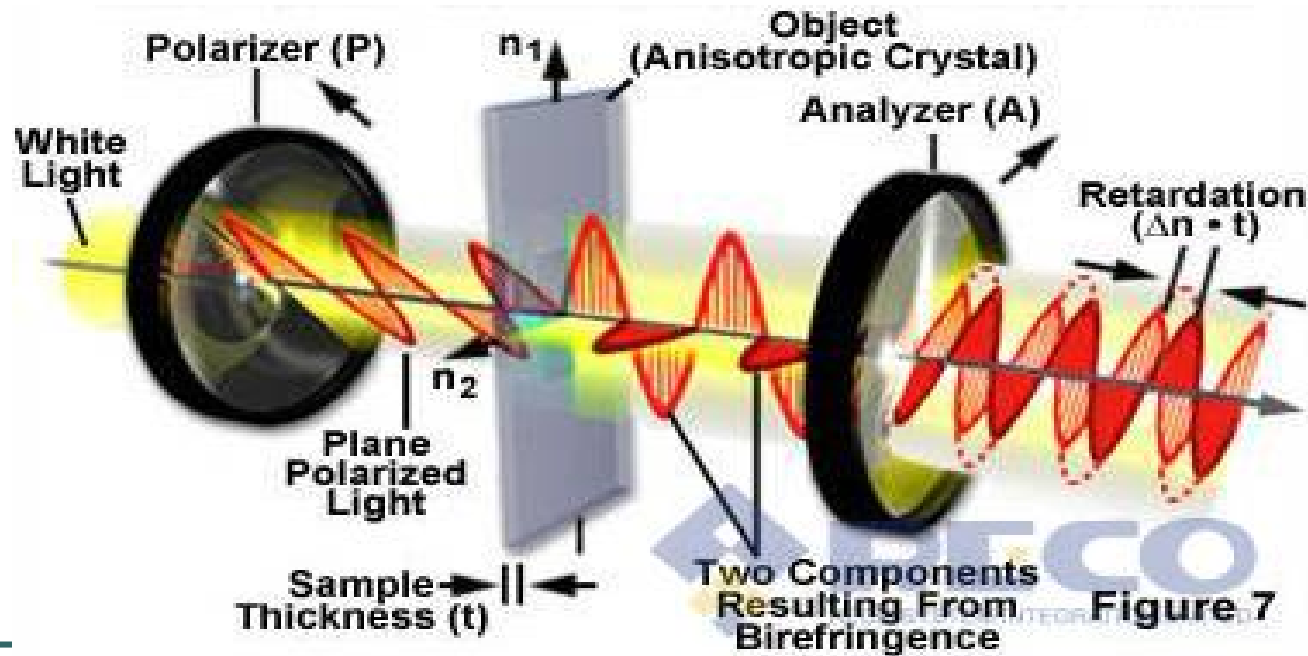


图 3-1 偏光显微结构示意图

- 偏光显微镜是鉴定物质细微结构光学性质的一种显微镜。凡具有双折射的物质，在偏光显微镜下就能分辨的清楚。
- 双折射性是晶体的基本特性。因此，偏光显微镜被广泛地应用在矿物，化学等领域。



# 偏光镜应用

- A. 组织与晶粒的显示
- 各向异性金属的多晶体，其晶粒在正交偏振光下可看到不同亮度粒位向不同，而具有相同亮度的两个晶粒，有相同的位向。



(a) 明场场



(b) BaiKe.GQSOSO.COM

- 
- **B. 多相合金的相分析**
  - (1)两相合金中一相为各向同性，另一相为各向异性，极易由偏振光鉴别。
  - (2)两相都属各向同性。经适当的化学浸蚀后，使一相被浸蚀后具有光学各向异性，而对另一相并不发生浸蚀作用。

- C. 非金属夹杂物的鉴别

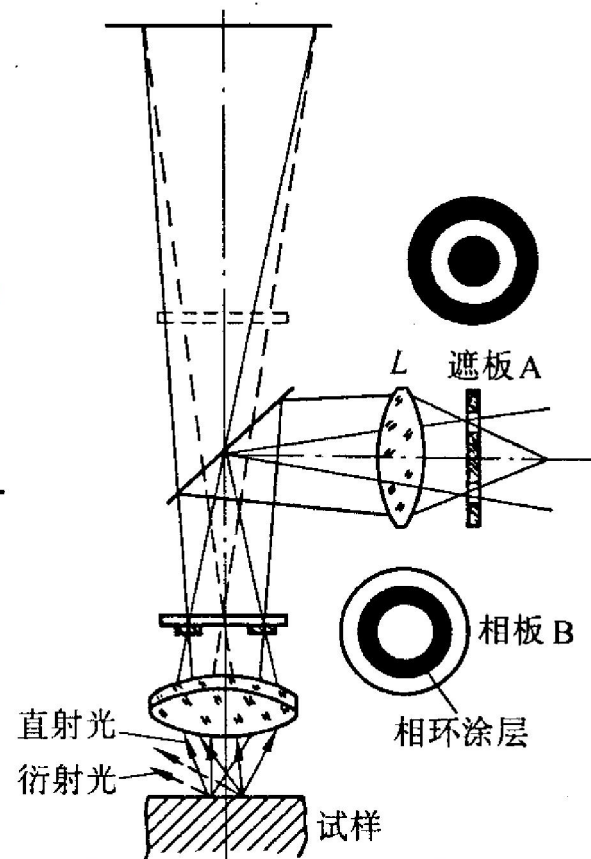
- 金属中常存在各种类型的非金属夹杂物，它们又有各种光学特性，如反射能力、透明度、固有色彩、均质及非均质性等。利用偏振光可观察到这些夹杂物的特性，如鉴别钢中非金属夹杂物。

- D. 塑性变形、择优取向及晶粒位向的测定

- 如果多晶体金属受外界条件的影响，晶粒以一位向排列起来，例如塑性变形后，或塑性变形再结晶后晶粒的择优取向(即形变织构或再结晶织构)，由于多晶体位向的一致排列，在同一金属磨面上将有一致的光轴方向，故在正交偏振光下整个视野内明暗程度应趋于一致——近于单晶体的偏振效果，或整个视野明亮，或整个视野黑暗。可以利用光度计测量整个视野反射光的总强度，记录它随载物台转动时的变化。

## 6.4 相衬分析

- 利用装在显微镜内的相位板，使反射光产生干涉或叠加，把具有相位差的光 → 转换成具有强度差的光，以鉴别金相组织。



## 7. 样品制备

---

- 7.1 取样
- 7.2 镶样
- 7.3 磨光
- 7.4 抛光
- 7.5 腐蚀

## 7.1 取样

---

- 取样应选择有代表性的部位
- 不改变原来的组织
- 对于软材料，可以用锯、车、刨等加工方法；
- 对于硬材料，可以用砂轮切片机切割或电火花切割等方法；
- 对于硬而脆的材料，如白口铸铁，可以用锤击方法；
- 在大工件上取样，可用氧气切割等方法。



## 7.2 镶样

---

- 用专门的镶样机，在合适的加热温度和压力下，将试样镶嵌在固化的树脂或塑料基体中。
- 还可以采用机械镶嵌法，即用夹具夹持试样。

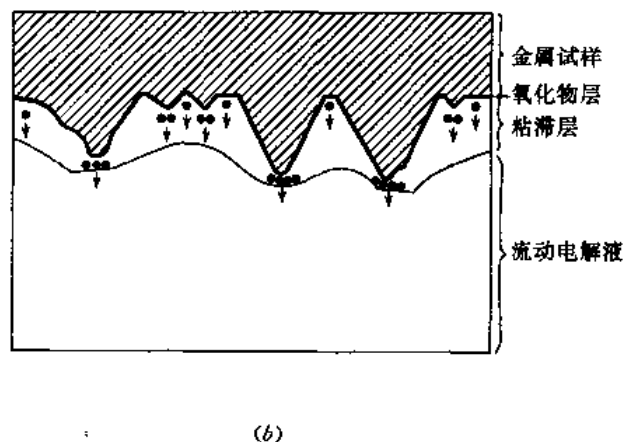
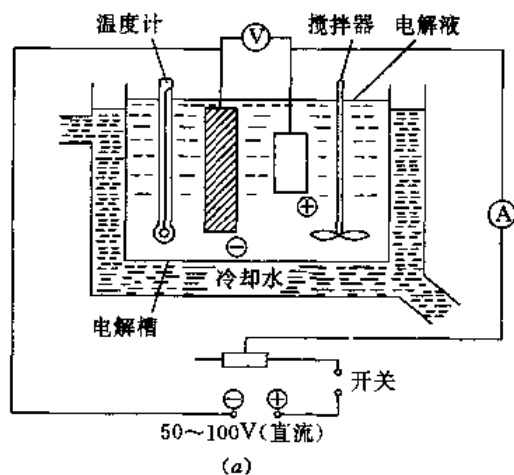
## 7.3 磨光

---

- 金相试样的磨光除了要使表面光滑平整外，更重要的是应尽可能减少表层损伤。
- 每一道磨光工序必须除去前一道工序造成的变形层，而不是仅仅把前一道工序的磨痕除去。
- 手工磨光时，本道工序的磨痕应与上一道工序的磨痕方向垂直，这样可以使试样磨面保持平整并平行于原来的磨面。

## 7.4 抛光

- (1) 机械抛光。粗抛，精抛。
- (2) 电解抛光。电解抛光时，在试样表面上形成一层具有较高电阻的薄膜，试样凸起部分的膜比凹下部分薄，膜越薄电阻越小，金属溶解速度越快，从而使凸起部分渐趋平坦。
- (3) 化学抛光。化学抛光的原理与电解抛光类似，是化学药剂对试样表面不均匀溶解的结果。



## 7.5 腐蚀

---

### (1) 化学腐蚀。

- 纯金属及单相合金的腐蚀是一个化学溶解的过程。由于晶界上原子排列不规则，具有较高的自由能，所以晶界易受腐蚀而呈凹沟，使组织显示出来，若腐蚀较深，则由于各晶粒位向不同，不同的晶面溶解速率不同。
- 两相合金的腐蚀主要是一个电化学腐蚀过程。

### (2) 电解腐蚀

电解腐蚀所用的设备与电解抛光相同，只是工作电压和工作电流比电解抛光时小。在微弱电流的作用下各相腐蚀程度不同，因而显示出组织。



## 本章重点

---

阿贝成像原理  
分辨率