

## § 15—8 偏振光的干涉

### 一、平行偏振光的干涉

1、干涉装置

2、原理和公式

3、讨论

### 二、会聚偏光仪的干涉

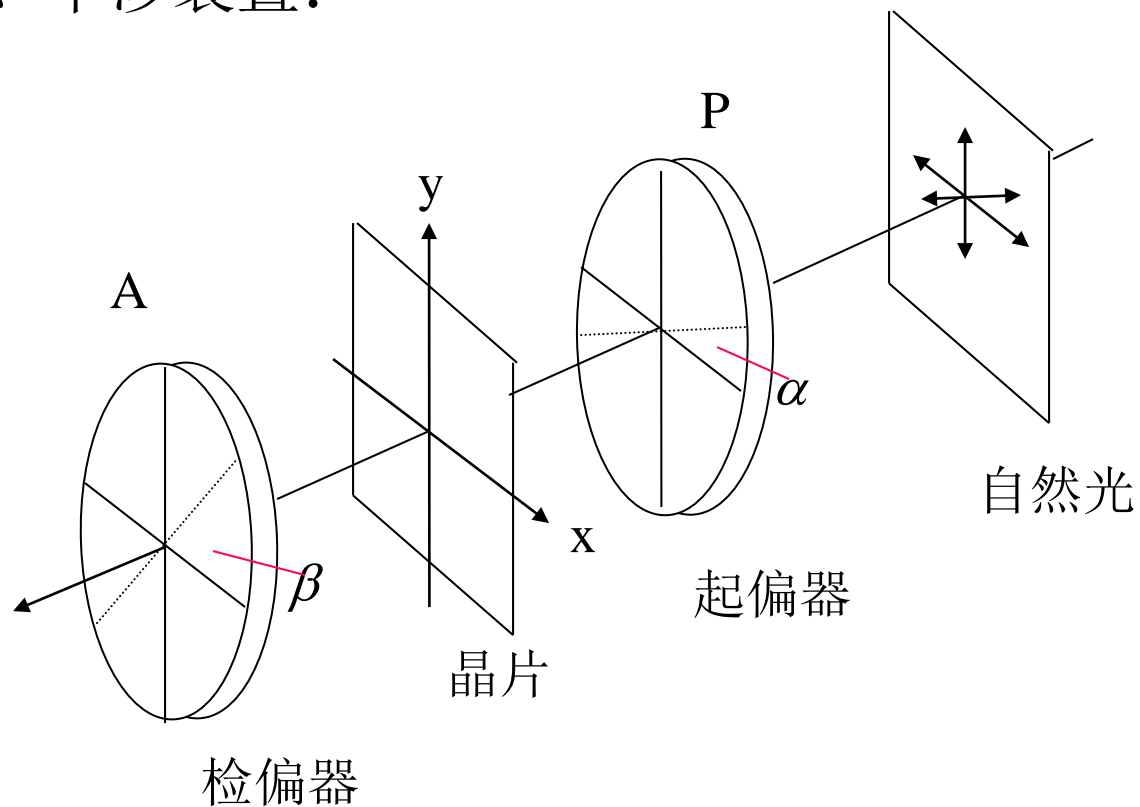
1、双折射晶体作分光镜

2、偏振分光镜与  $\lambda/4$  片组合

## § 15—8 偏振光的干涉

### 一、平行偏振光的干涉

#### 1、干涉装置：



## 2、原理和公式：

沿晶片快、慢轴方向建立坐标系。

设入射线偏光振幅为a。

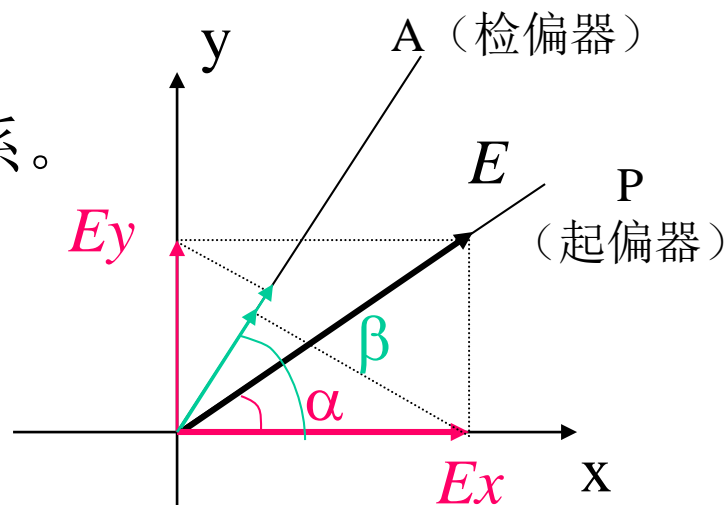
$$E_x = a \cos \alpha \quad E_y = a \sin \alpha$$

晶片产生的位相差：
$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} |n_o - n_e| d$$

晶片出射光：
$$E'_x = a \cos \alpha \quad E'_y = a \sin \alpha \cdot e^{i\delta}$$

检偏器后：
$$E''_x = a \cos \alpha \cos \beta \quad E''_y = a \sin \alpha \sin \beta \cdot e^{i\delta}$$

合成光强：
$$I = |E''_x + E''_y|^2$$



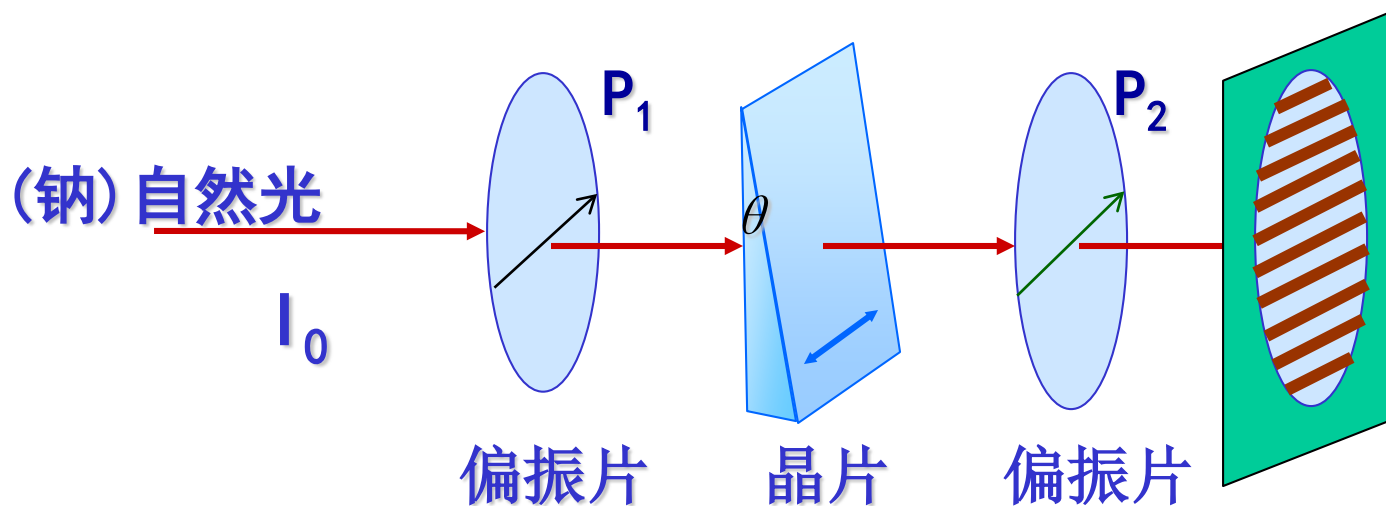
干涉强度与P、A相对于晶片快、慢轴的方位有关，同时取决于晶片性质

$$I = a^2 \cos^2(\alpha - \beta) - a^2 \sin 2\alpha \sin 2\beta \sin^2 \left( \frac{\pi |n_0 - n_e| d}{\lambda} \right)$$

与晶片性质无关，仅取决于P、A之间的相对方位，形成干涉场的背景光

对于单色光照明的不均匀晶片，出现等厚干涉条纹

对于白光照明时，由于不同波长的光的干涉效应不同，透射光将呈现彩色



### 劈尖晶片的等厚干涉花样

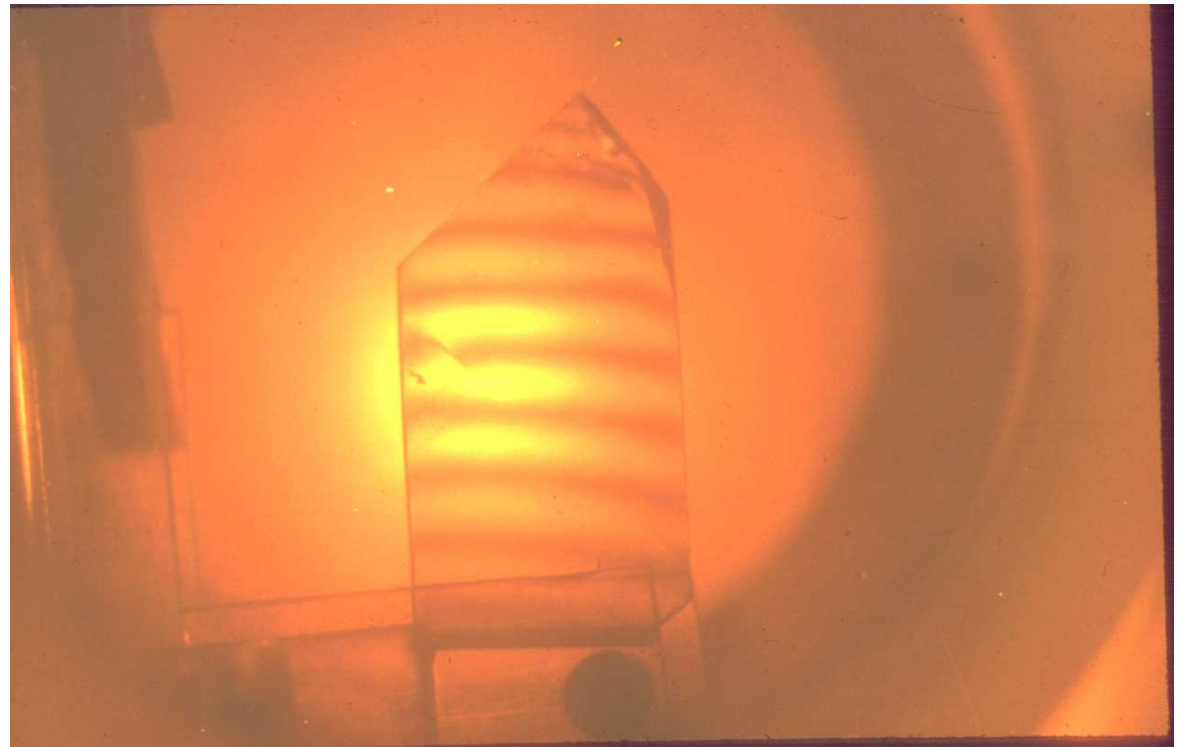
当偏振光的干涉装置中的晶片厚度不均匀时，具有相同厚度的地方，将产生同样的干涉光强，形成等厚干涉花样。

$$I_{\parallel} = I_0 \left( 1 - \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\delta}{2} \right)$$

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} |n_o - n_e| d \approx \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) \theta_x$$

# 石英劈尖的偏振光干涉（等厚条纹）

- 若单色光入射，且晶片为尖劈状（厚度  $d$  不均匀），则屏上会出现平行的等厚干涉条纹



$$I_{\parallel} = I_0 \left( 1 - \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\delta}{2} \right)$$

$$\delta \approx \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) \theta_x$$

当：  $\delta = 2k\pi$ ， 即  $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} |n_o - n_e| \theta_x = 2k\pi$ ， 干涉相长， 亮条纹。

当：  $\delta = (2k+1)\pi$ ， 即  $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} |n_o - n_e| \theta_x = (2k+1)\pi$ ， 干涉相消， 暗条纹。

**等厚条纹， 条纹间距：**

$$\Delta x = \frac{\lambda}{\theta |n_o - n_e|}$$

### 3、讨论

#### 1) 正交偏振器系统:

起偏器P和检偏器A的透光轴相互垂直, 即:  $\beta=\alpha+\pi/2$

$$I_{\perp} = a^2 \sin^2 2\alpha \sin^2 \left( \frac{\pi |n_o - n_e| d}{\lambda} \right) = I_0 \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

分析

1.  $\beta=\alpha+\pi/2 \rightarrow$  背景光消失了
2.  $\delta$  为定值, 当  $\alpha=0, \pi/2, \pi, 3\pi/2, \dots m\pi/2$  ( $m$ 为整数)

即偏振器透光轴与晶片的快(慢)轴方向一致时

$$\sin 2\alpha = 0 \rightarrow I_{\perp} = 0。$$

表明

干涉光强有极小值。

此时绕z轴转动晶片一周, 可看到四次光强为零的位置



3. 当  $\alpha = \pi/4, 3\pi/4, \dots (2m+1)\pi/4$  ( $m$  为整数)

即偏振器透光轴与晶片的快（慢）轴成  $45^\circ$

$$I_{\perp} = I_0 \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

表明 光强有极大值

此时绕  $z$  轴转动晶片一周，可看到四个最亮的位置

4. 当  $\delta = 0, 2\pi, \dots 2m\pi$  ( $m$  为整数) 时

$$I_{\perp} = 0$$

得暗纹，晶片起全波片的作用

当  $\delta = \pi, 3\pi \dots (2m+1)\pi$  ( $m$  为整数) 时

$$I_{\perp} = I_0 \sin^2 2\alpha$$

得亮纹，晶片起半波片的作用

可知

当  $\delta = (2m+1)\pi$ , 且  $\alpha = (2m+1)\pi/4$  时，有最大的干涉光强

$$I_{\perp} = I_0$$

## 2) 平行偏振器系统:

起偏器P和检偏器A的透光轴相互平行, 即:  $\beta=\alpha$

$$I_{//} = I_0(1 - \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\delta}{2})$$

光强极大、极小的条件与垂直偏振器系统时互补

## 3) 白光干涉:

当光源采用包含各种成份的白光时, 光强应是各种单色光干涉强度的非相干叠加。透射光不再是白光, 是干涉色

$$I_{\perp} = \sum_i (I_0)_i \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\delta_i}{2}$$

分析

满足

$$\lambda_i = \left| \frac{2(n_o - n_e)}{(2m+1)} \right| d \quad \text{干涉光强最大}$$

平行偏振器时干涉场的色彩与垂直时成互补色—色偏振

# 色偏振 (chromatic polarization)

若白光入射，且晶片 $d$ 均匀，则：屏上由于某种颜色干涉相消，而呈现它的互补色，这叫（显）色偏振。如：

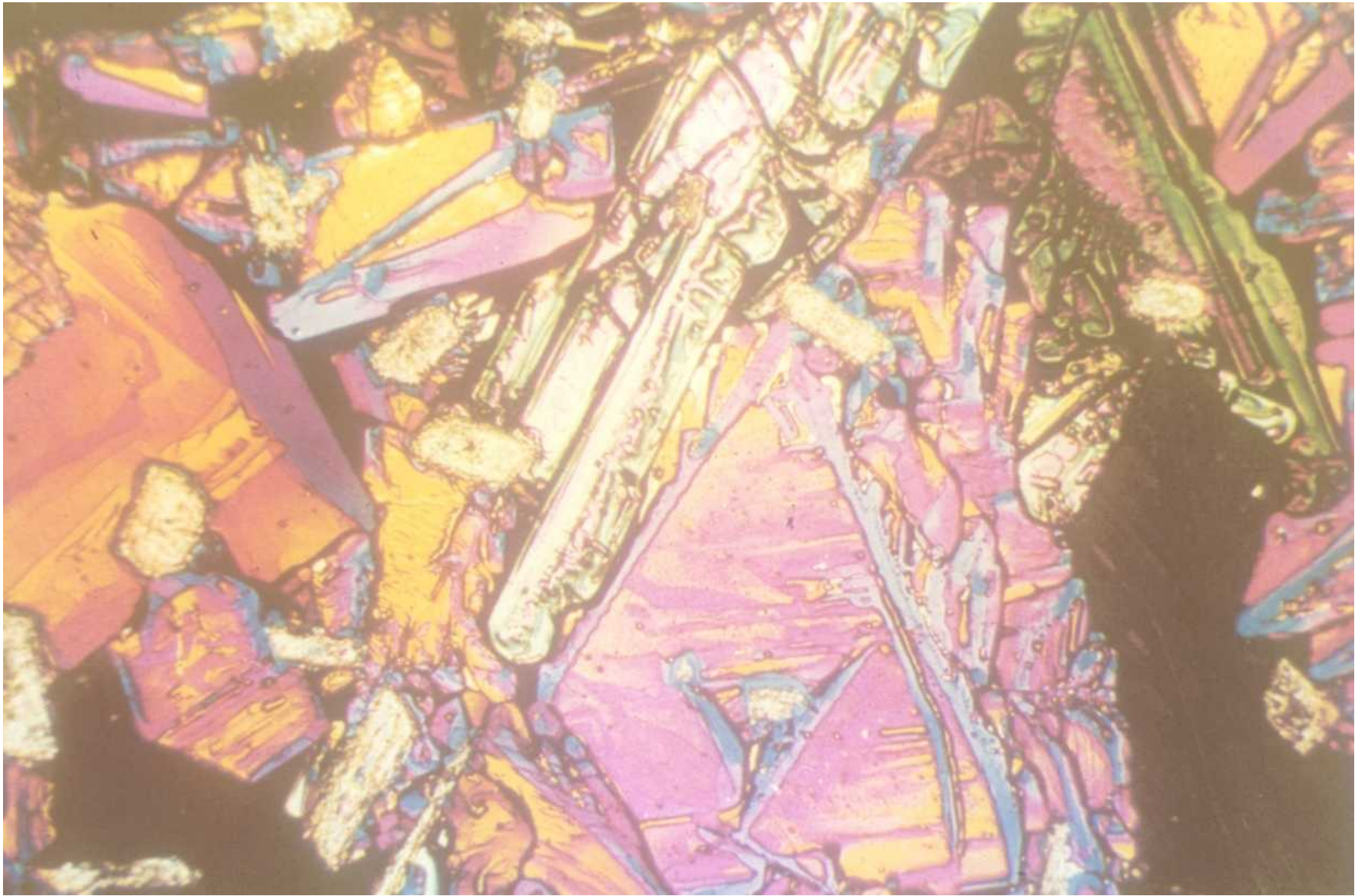
红色（656.2 nm）相消 → 青色（492.1 nm）；

蓝色（485.4 nm）相消 → 黄色（585.3 nm）。

若 $d$ 不均匀，则屏上出现彩色条纹。

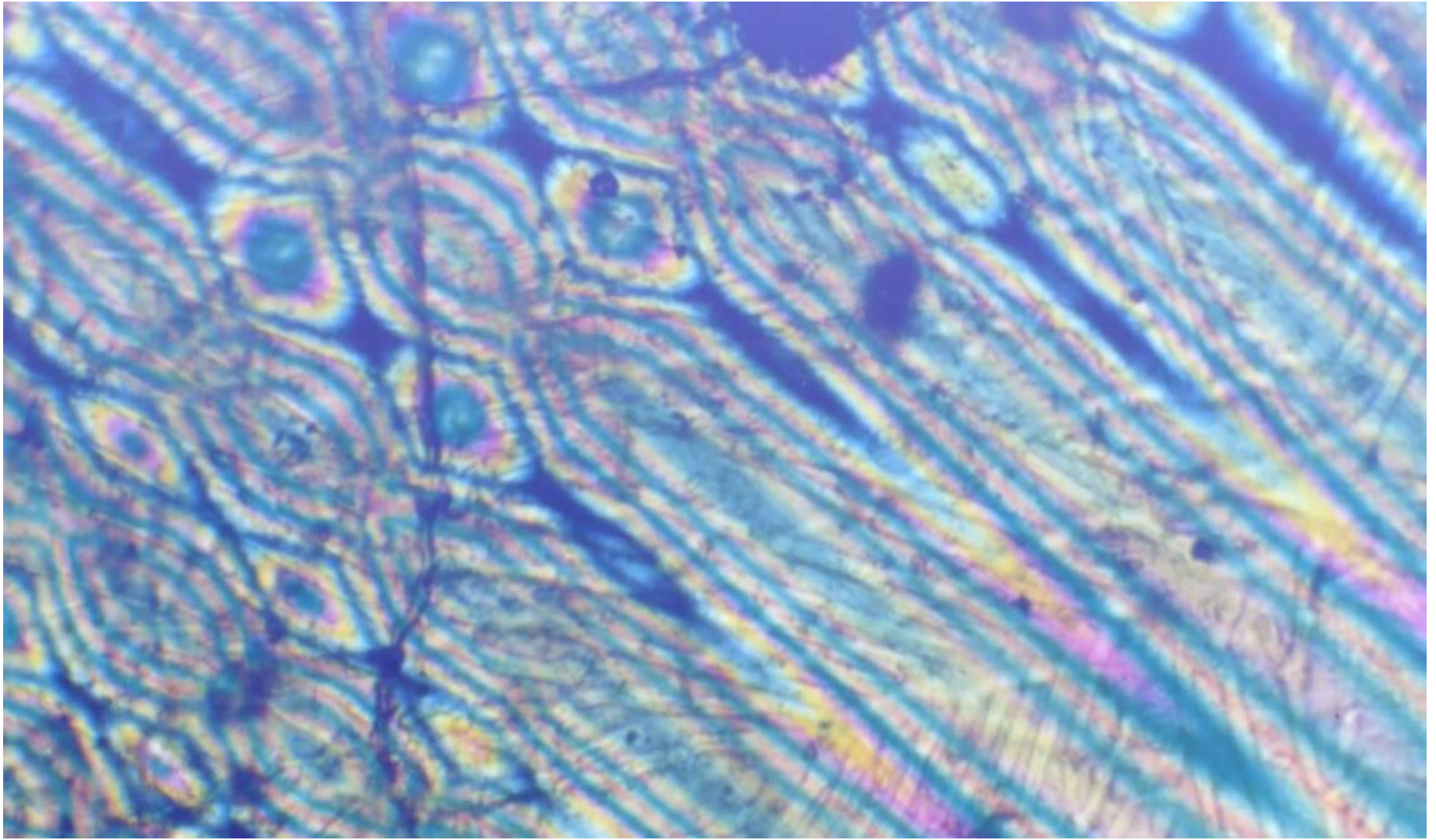
色偏振是检验材料有无双折射效应的灵敏方法，用显微镜观察各种材料在白光下的色偏振，可以分析物质内部的某些结构

——偏光显微术。



硫代硫酸钠晶片的色偏振图片





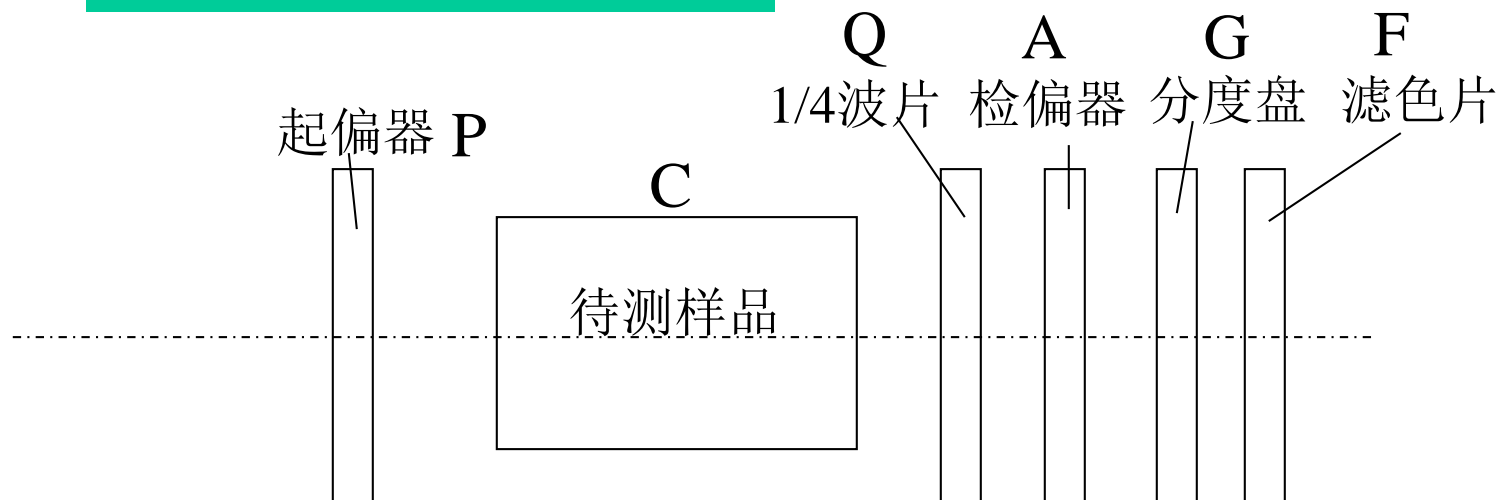
钛酸钡晶体的电畴显微照片

#### 4、光测弹性方法及玻璃内应力的测定：

光弹效应（应力双折射）：由应变引起的双折射现象。

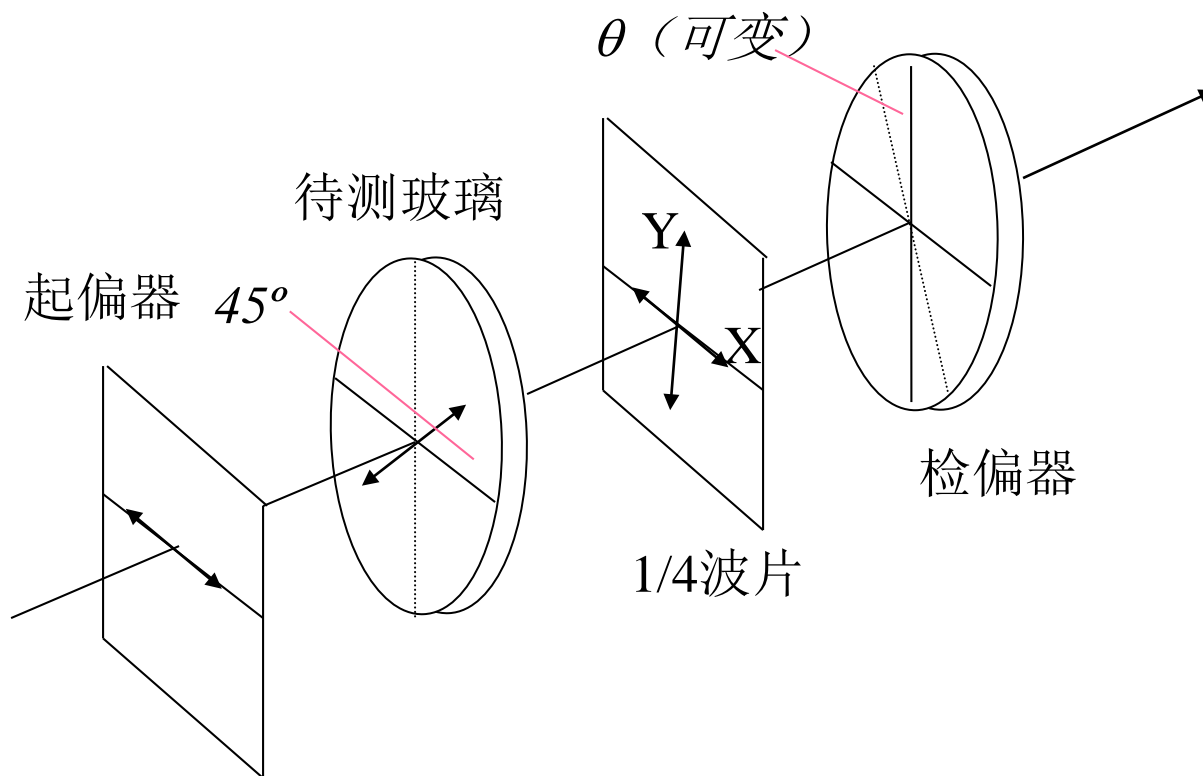
光测弹性方法：利用偏振光干涉方法分析受力情况。

举例：测试玻璃内应力



读数偏光仪的组成

读数偏光仪工作原理：



选择X、Y轴分别沿1/4波片的快慢轴，并让玻璃的快慢轴与起偏器的透光轴成45度。

透过起偏器的线偏光琼斯矩阵为：

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

1/4波片的琼斯矩阵为：

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix}$$

设玻璃产生的位相差为 $\delta$ ，则其琼斯矩阵为： $\cos \frac{\delta}{2} \begin{bmatrix} 1 & -itg \frac{\delta}{2} \\ -itg \frac{\delta}{2} & 1 \end{bmatrix}$

线偏光通过玻璃和1/4波片后的偏振态为：

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix} \cos \frac{\delta}{2} \begin{bmatrix} 1 & -itg \frac{\delta}{2} \\ -itg \frac{\delta}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \cos \frac{\delta}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ tg \frac{\delta}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \frac{\delta}{2} \\ \sin \frac{\delta}{2} \end{bmatrix}$$

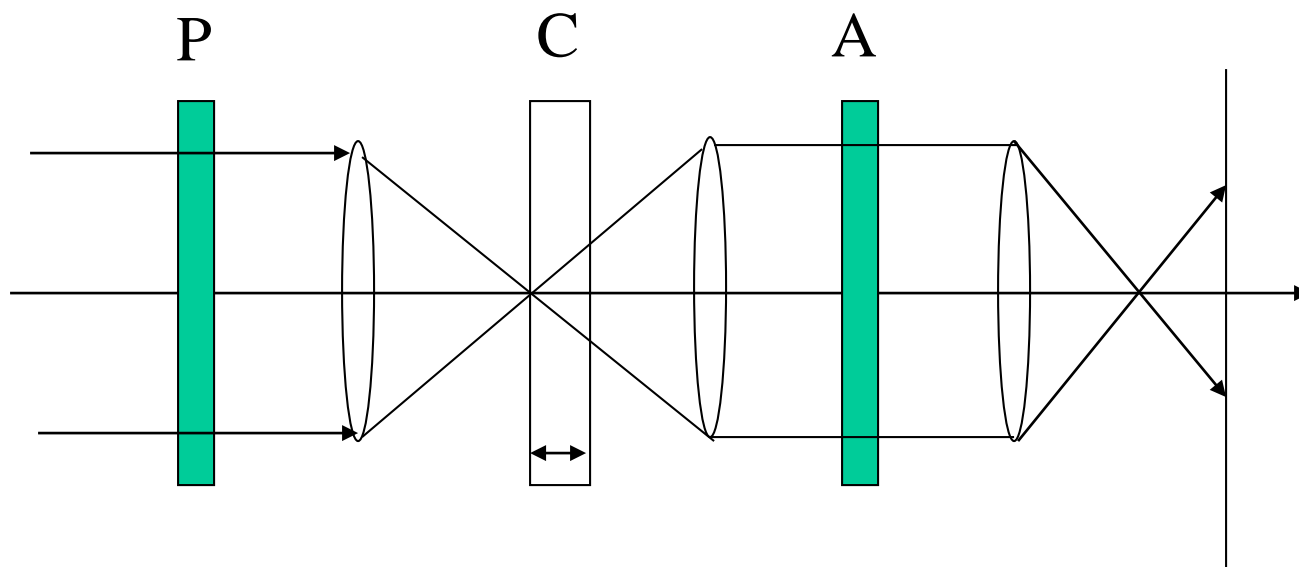
出射线偏光的偏振态为： $\begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix}$   $\theta$ 为出射线偏光的光矢量与x轴的夹角



结论：

- 1) 从1/4波片出射的是线偏光。出射线偏光的光矢量与x轴的夹角 $\theta = \delta/2$ 。
- 2) 旋转检偏器可测得 $\theta$ ，故可求 $\delta$ ，即求得了待测玻璃的双折射率之差，从而分析了玻璃内部的应力情况。

## 二、会聚偏光仪的干涉



会聚偏光仪干涉装置

透过厚度为d的晶片时两束出射光之间的相位差：

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} |n_o - n_e'| \frac{d}{\cos \psi}$$

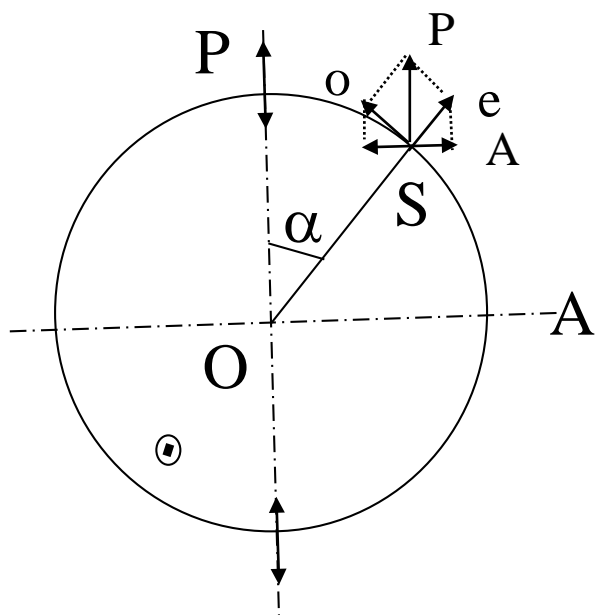
偏振光的强度分布为：

$$I = I_0 \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\pi |n_o - n_e'| d}{\lambda \cos \psi}$$

讨论：

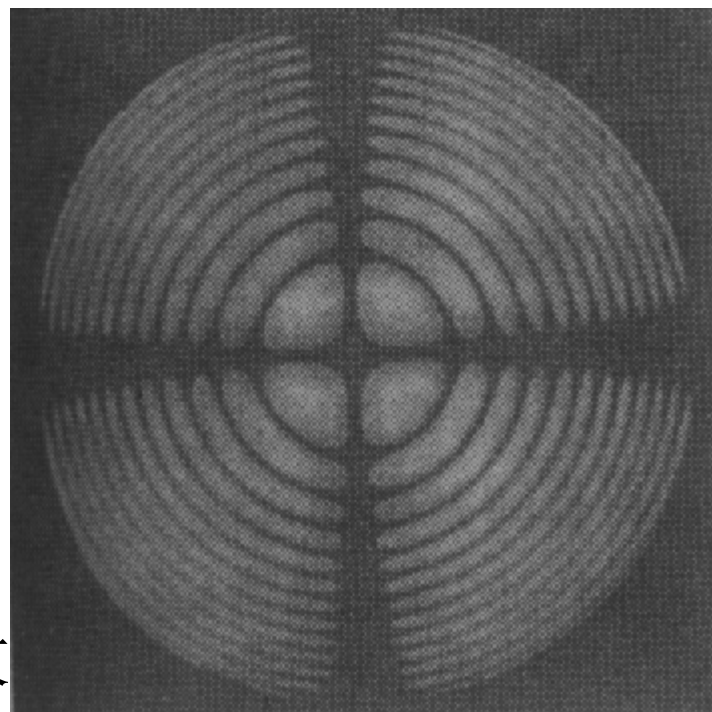
- 1) 干涉强度与入射角的方位有关；形成同心干涉圆环（等色线）
- 2) 干涉强度与入射面相对于正交偏振器透光轴的方位有关。

在同一圆周上，由光线和光轴构成的主平面的方位是逐点改变的，且晶体光轴方向就是表面法线方向，因此入射面就是主截面。因而，参与干涉的o、e光在检偏器光轴上的投影振幅随着主截面相对于起偏器P的方位 $\alpha$ 而变



当 $\alpha = \pm 45^\circ$  得到最鲜明的干涉条纹

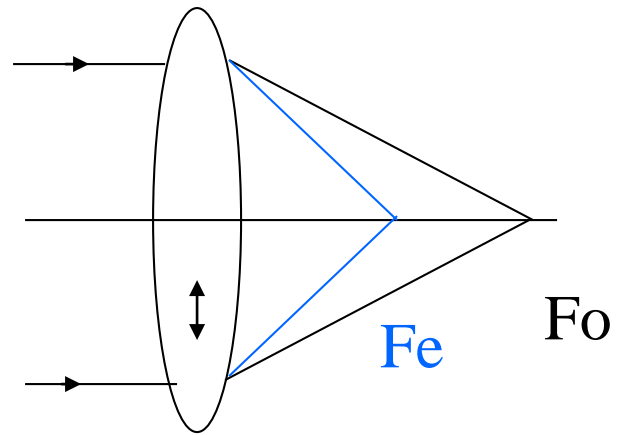
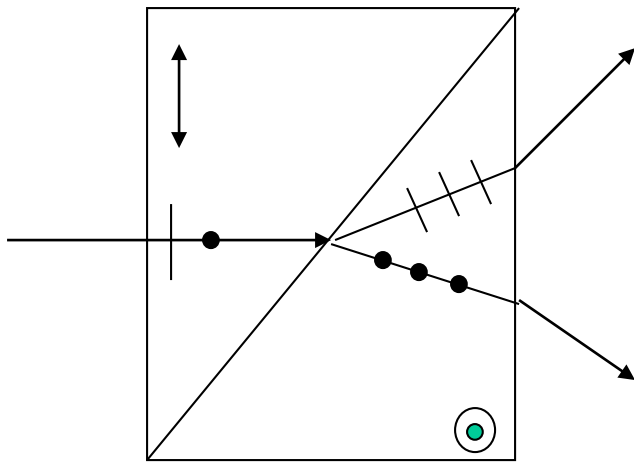
当 $\alpha \rightarrow 0$ 或  $\pi/2$  光强为零



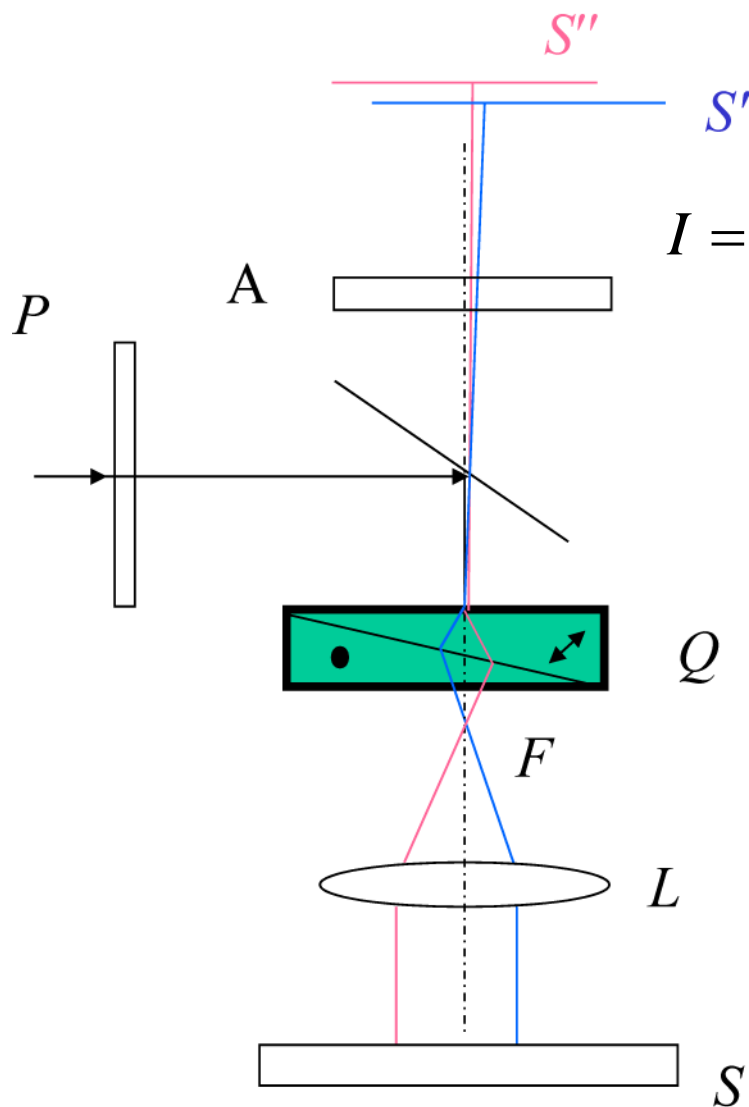
会聚偏振光干涉图

### 三、偏光干涉仪

#### 1、双折射晶体作分光镜



双像元件的分束



像面上的强度分布为:

$$I = I_0 \{1 + V \cos[2k[H(x+d, y) - H(x, y)] + \delta]\}$$

$\delta$  很小时, 上式为

$$I = I_0 [1 + V \cos(2k \frac{\partial H}{\partial x} \bullet d) + \delta]$$

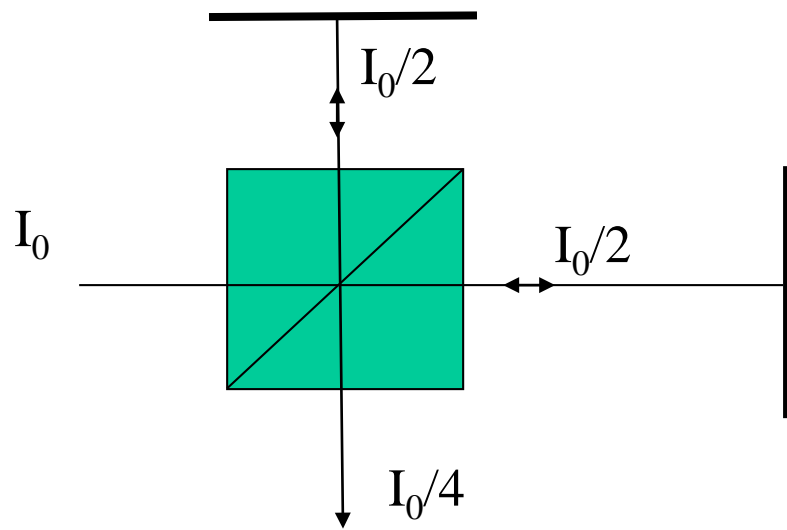
以强度变化的形式观察到表面形状的微分值。

用于:

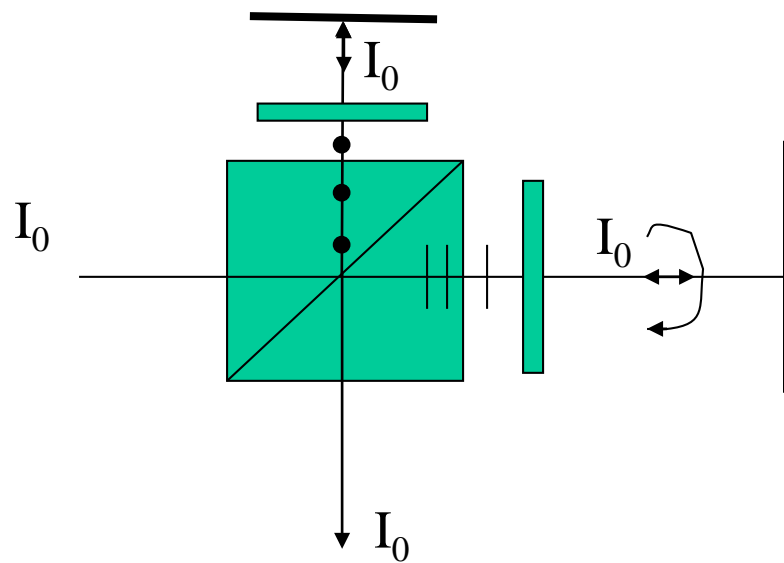
表面缺陷, 表面毛疵的高灵敏度检测

微分干涉显微镜光路图

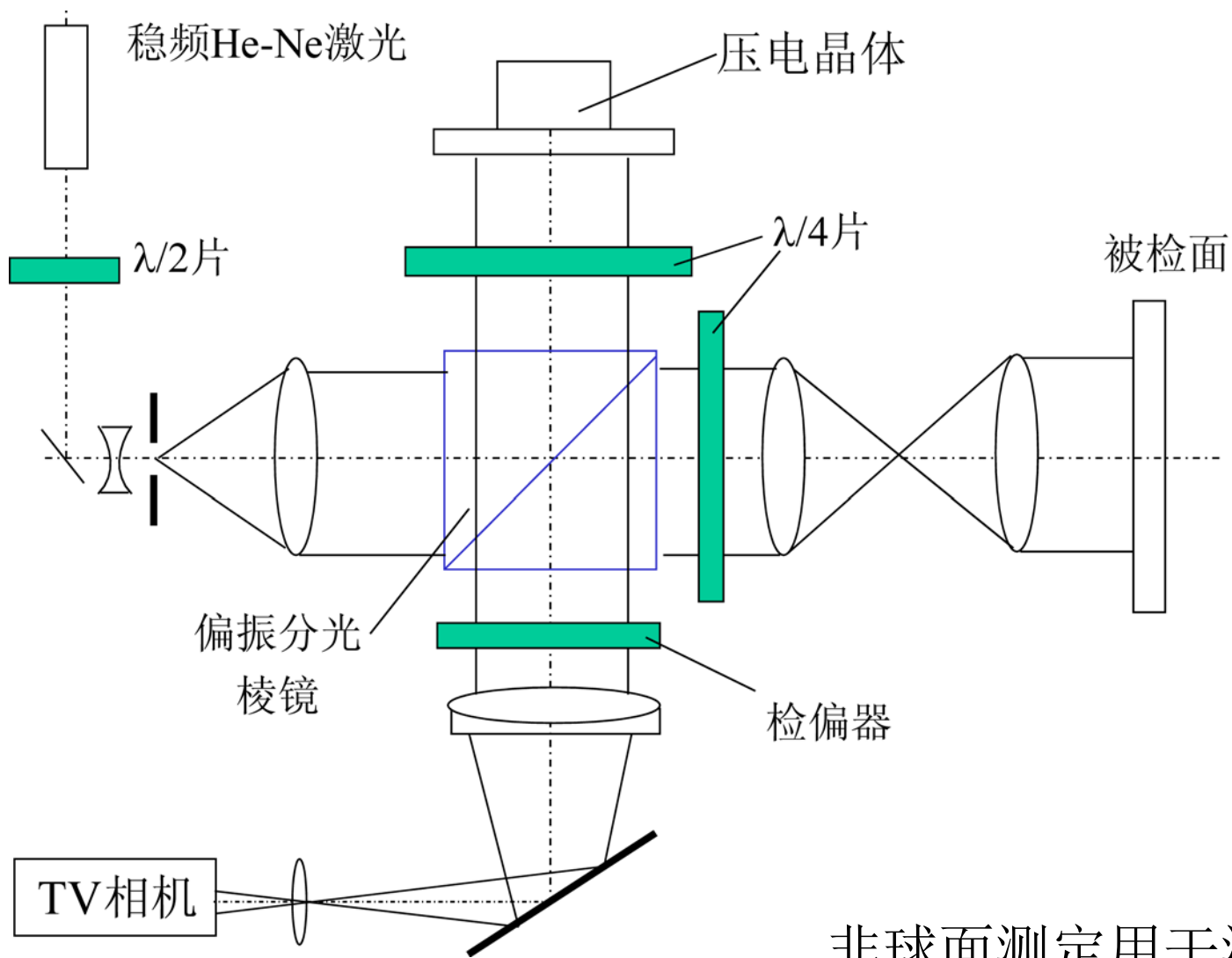
## 2、偏振分光镜与 $\lambda/4$ 片组合



普通分光镜



偏振分光镜



非球面测定用干涉仪



## 非球面测定用干涉仪有以下优点：

- 1.最大直径为125mm，精度达 $\lambda/100$
- 2.在光路中，防止了回授光对光源稳定性地影响，并且在 $\lambda/4$ 片前面地各反射面反射地非期望光线都被偏振分光镜抑制了，不产生对干涉条纹的影响，消除了杂散光的影响。
- 3.在照明系统中还置有一 $\lambda/2$ 片，转动 $\lambda/2$ 片，可以改变入射光的偏振分量，控制入射光的两个互相垂直的分量的相对强度。
- 4.对于被检面反射比很小时，采用偏振干涉系统能得到相当于一般干涉仪三倍的光强，能充分合理地利用所有的光强。

# 本节内容总结

## 一、平行偏振光的干涉

- 1、干涉装置
- 2、原理和公式
- 3、讨论

## 二、会聚偏光仪的干涉

- 1、双折射晶体作分光镜
- 2、偏振分光镜与  $\lambda/4$  片组合

# 作 业

- P532第27题