

# 第七章 光在晶体中的传播

Chap.7 Optical Propagation in Crystals

李玲  
深圳大学电子科学与技术学院

## 第七章 光在晶体中的传播

### 教学要求

- ❖理解o光和e光概念
- ❖熟悉光在晶体的传播规律
- ❖掌握常见的偏振晶体元件的功用
- ❖熟悉偏振光的干涉
- ❖了解光弹性效应、电光效应和旋光现象

## 第七章 光在晶体中的传播

### Lecture 1

#### § 7.1 晶体的双折射

1. 晶体的双折射概念
2. 光在单轴晶体中的波面图
3. 用惠更斯原理确定反射和折射光传播方向

## 第七章 光在晶体中的传播

### Lecture 2

#### § 7.2 晶体光学器件

尼科耳棱镜    格兰—汤普森棱镜  
波晶片        格兰—傅科棱镜

#### § 7.3 偏振光的获得和检验

## 第七章 光在晶体中的传播

### Lecture 3

#### § 7.4 偏振光的干涉

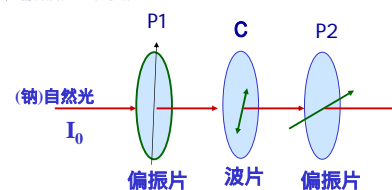
偏振光的干涉（平行波晶片）  
等厚干涉（非平行波晶片）

#### § 7.5 旋光

## 1. 偏振光的干涉

### 1.1 平行波晶片

偏振光垂直通过波片以后，按其振动方向（或振动面）分解为o光和e光，具有相同的振动频率和固定的相位关系。若将它们投影到同一方向，就能满足相干条件，实现偏振光的干涉。



分振动面干涉装置

以P1⊥P2和P1//P2两种情况为例讨论.

(1) P1⊥P2 :

光经过P1 : 强度为  $I_0$  的单色自然光过偏振片P1后变为强度为  $I_0/2$  的线偏振光, 其光振动方向与P1透振方向平行. 设线偏振光振幅为A, 则

$$A^2 = I_0 / 2,$$

光达到C :  
o光振幅  $A_o = A \sin \theta$ ,  
e光振幅  $A_e = A \cos \theta$ .

$\theta$  为波片光轴与P1透振方向的夹角.

光经过C :

波片前表面o光与e光同相位,  $\delta_0 = 0$ .

波片后表面两振动 :

振幅 :  
 $A_o = A \sin \theta$ ,  
 $A_e = A \cos \theta$ ,

位相差 :  $(\delta_0 + \delta)$

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

光经过P2 : 最后两光振动投影到P2上, 形成干涉.

相干光振幅

$$A_{No} = A \sin \theta \cos \theta,$$

$$A_{Ne} = A \cos \theta \sin \theta.$$

位相差为 :

$$\delta' = \delta_0 + \delta + \pi$$

$$= \delta + \pi.$$

(式中  $\pi$  为投影时引起的相差)

相干光强:

$$I_{\perp} = A_{No}^2 + A_{Ne}^2 + 2A_{No}A_{Ne} \cos \delta',$$

$$= (A^2 / 2)(\sin^2 2\theta)(1 - \cos \delta)$$

$$I_{\perp} = \frac{I_0}{4} (\sin^2 2\theta)(1 - \cos \delta).$$

出射光强与  $\delta$  有关, 与  $\theta$  有关.

讨论:

若  $\theta$  一定.

(a) 当  $\delta = 2j\pi$  时(波长片),  $\cos \delta = 1$ ,  
 $I_{\perp} = 0$ , 出射光强为零.

(b) 当  $\delta = (2j+1)\pi$  (半波片)时,  $\cos \delta = -1$ ,  
 $I_{\perp} = (I_0/2) \sin^2 2\theta$ , 出射光强最大.

(2) P1//P2:

光经过P1 : 线偏光, 强度为  $A^2 = I_0/2$ , P1 光轴

光达到C :  
 $A_o = A \sin \theta$ ,  
 $A_e = A \cos \theta$ ,  
 $\delta_0 = 0$ .

光经过C :  
 $A_o = A \sin \theta$ ,  
 $A_e = A \cos \theta$ ,  
 $\delta = 2\pi(n_o - n_e) d / \lambda$ .

光经过P2：

$$A_{N_o} = A \sin^2 \theta, \quad A_{N_e} = A \cos^2 \theta,$$

位相差：

$$\delta' = \delta_o + \delta + 0 = \delta. (\text{投影方向相同})$$

相干光强：

$$I_{//} = A_{N_o}^2 + A_{N_e}^2 + 2A_{N_o}A_{N_e} \cos \delta$$

将 $A_{N_o}$ ,  $A_{N_e}$ 和 $\delta$ 代入并整理得

$$I_{//} = \frac{I_0}{2} (1 - 2\sin^2 \theta \cos^2 \theta + 2\sin^2 \theta \cos^2 \theta \cos \delta).$$

讨论：

$\theta$  固定不动.

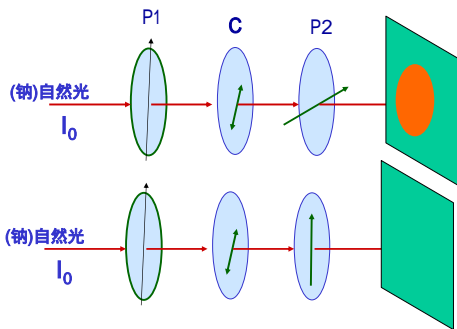
(a) 当  $\delta = 2j\pi$  时, (波长片)  $\cos \delta = 1$ ,

$$I_{//} = I_0/2, \text{ 出射光强最大.}$$

(b) 当  $\delta = (2j+1)\pi$  (半波片)时,  $\cos \delta = -1$ ,

$$I_{//} = I_0(1 - \sin^2 2\theta)/2, \text{ 出射光强最小.}$$

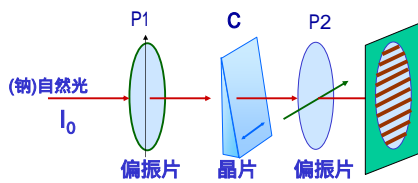
$I_{\perp} + I_{//} = I_0/2$ . 这两种情况光强互补



若用白光作光源, 对于同一厚度的波片, 垂直时出射光颜色与平行时出射光颜色互补, 即两种情况下的出射光加起来为白光. 在由垂直向平行过度时, 出射光颜色会发生突然的变化, 这种现象叫做**显色偏振**.

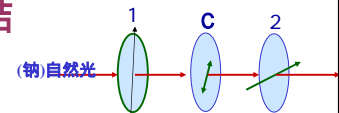
### 1.2 等厚干涉 (非平行波晶片)

当偏振光的干涉装置中的波晶片厚度不均匀时, 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.



劈尖波晶片的等厚干涉花样

### 偏振光干涉小结



		光强极大	光强极小	实验现象
波片厚度均匀	$P1 \perp P2$	$\frac{1}{2}$ 波片	波长片	单色光入射, 接收屏上照度均匀。白光入射时, 屏幕上出现彩色。
波片厚度不均匀	$P1 // P2$	波长片	$\frac{1}{2}$ 波片	单色光入射, 接收屏上出现干涉条纹。白光入射时, 屏幕上条纹带有彩色。

## 2. 偏振光干涉的应用

### 光测弹性

讨论  $\Delta n = n_e - n_o$  变化的影响

#### 1) 光测弹性的起因

内应力使玻璃或塑料的折射率之差  $n_e - n_o$  随位置变化(各向异性), 从而使它们具有双折射特性。

特点: 应力越集中, 各向异性越强, 干涉条纹越细密或色彩变化越大。

#### 2) 光测弹性的应用

显示物体内部应力分布

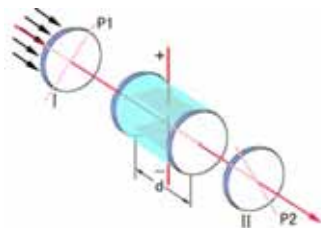
用于设计机械工件、桥梁和水坝等  
预报矿井冒顶、地震等事故。

## 克尔效应与泡克尔斯效应

### 1) 克尔效应

(1) 定义: 通过施加电场使物质产生双折射

(2) 结构:



克尔盒

带有平行玻璃窗的小盒内

装有硝基苯 ( $C_6H_5NO_2$ ) 的液体,

封着一对平行板电极, 电场与  $P_1 P_2$  夹角  $45^\circ$ 。

(3) 克尔效应

电极间不加电压时, 没有光束透过系统。

加上强电场 ( $E \sim 10^4 V/cm$ ) 时,  
有光束透过系统。

(4) 克尔效应公式和克尔常数

实验表明:  $(n_e - n_o) \propto E^2$

$$\text{即: } \frac{\delta}{2\pi} = \frac{(n_e - n_o)d}{\lambda} \propto \frac{E^2 d}{\lambda} \quad \text{或: } \frac{\delta}{2\pi} = B \frac{E^2 d}{\lambda}$$

系数  $B$  是物质的克尔常数

钠黄光通过硝基苯时:

$$B = 220 \times 10^7 \text{ CGSE 单位}$$

(5) 克尔效应的应用

弛豫时间约为  $10^{-9} s$

用于制作高速光闸、电光调整器。

用于高速摄影、光束测距、  
激光通讯、激光电视等方面。

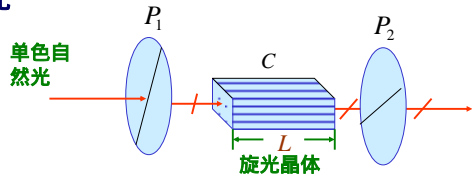
(6) 克尔盒的缺点: 硝基苯纯度要求很高、  
有毒、液体不便携带等。

(7) 泡克尔斯效应:

在电场作用下  $KDP$  单轴晶体 ( $KH_2PO_4$ )  
变成双轴晶体。

特点:  $\delta \propto E$ , 所需电压低, 固体, 无毒。

### 3 旋光



线偏振光在一些物质中传播时，振动面会转过一个角度，这种现象叫做旋光现象。这种物质叫做旋光物质。

线偏振光振动面转过的角度  $\varphi = \alpha L$  ( $\alpha$ 为旋光系数)

溶液旋光物质:  $\varphi = \alpha c L$  ( $c$ 为溶液浓度)

### 菲涅耳的旋光理论

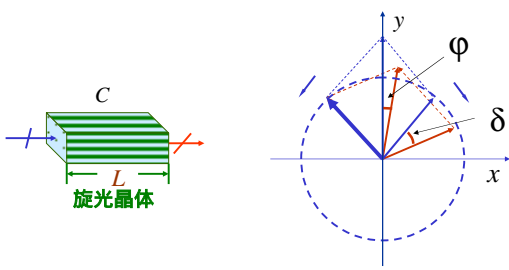
沿晶体光轴传播的线偏振光由两个沿相反方向旋转的、等频率的圆偏振光组成；在旋光晶体中，这两个圆振动有不同的传播速度，在右旋晶体中右旋圆传播得快，在左旋晶体中左旋圆传播得快。

左旋晶体:  $n_l < n_r, v_l > v_r,$

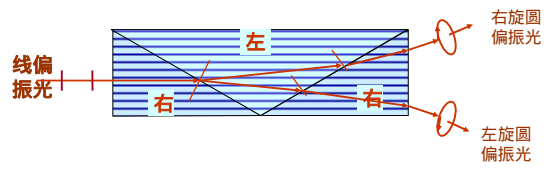
右旋晶体:  $n_l > n_r, v_l < v_r,$

组成线偏振光的左旋圆和右旋圆沿光轴通过L厚的晶体,产生的位相差为

$$\delta = \frac{2\pi L}{\lambda}(n_l - n_r).$$



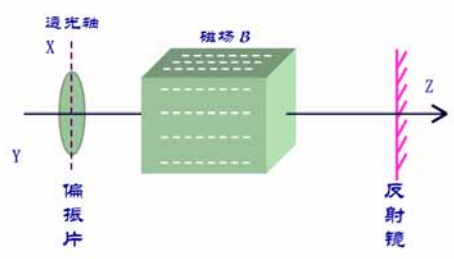
右旋物质中，右旋圆振动矢量转过的角度比左旋圆大，合成线偏振光振动面向右转过一个角度。



证明菲涅耳旋光理论的实验

### 应用实例：偏振相关光隔离器

Faraday效应的旋光特性



### ❖ Homework 7.3

Page 214 1

Page 226 2

