

## 光电子技术 (14)

### § 3.5 激光束的偏转

激光束的偏转应用非常广泛，并且这些应用与我们的生活密切相关，如激光显示、激光打印、激光存储等。目前的激光偏转技术主要有机械偏转、电光偏转和声光偏转。

激光偏转分类：模拟偏转与数字偏转

模拟偏转：光束连续偏转，能到达偏转轨迹上的任何点。主要用于激光显示，如舞台显示，大屏幕激光显示。

数字偏转：光束只能到达偏转轨迹上的某些离散点。主要用于光存储。

#### 一、机械偏转

利用反射镜或棱镜等光学元件的旋转或振动，改变反射光或折射光的方向而实现光束偏转。如图69所示为一二维模拟扫描系统。

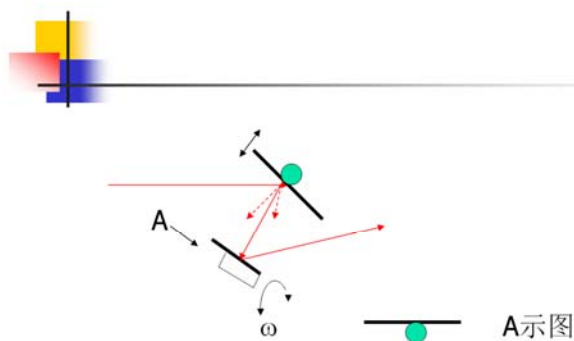


Fig.69 基于反射镜的二维扫描系统原理图。连续转动，为模拟扫描。步进转动，为数字式扫描。

## 光电子技术 (14)

机械偏转的优点：（1）偏转角大。（2）光谱范围宽。  
（3）光损耗小。（4）温度影响小。

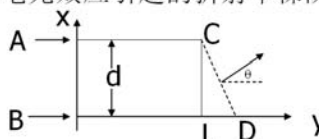
缺点：扫描速度慢。

### 二、电光偏转

光在非均匀介质中传播时，总是会向折射率梯度增加的方向偏折。光束的电光偏转就是基于晶体的电光效应引起的折射率梯度变化，使光线发生弯曲。

如右图所示为一沿X方向线性变化的折射率分布：

$$n(x) = n_0 + \frac{\Delta n}{d} x$$



式中 $\Delta n$ 为A、B两处间的折射率差。

## 光电子技术 (14)

A光线通过晶体后的光程为： $OPL_A = (n_0 + \Delta n)L$

B光线通过晶体后的光程为： $OPL_B = n_0 L$

等相面CD上D点超前C点的距离为： $\Delta y = (OPL_A - OPL_B) / n_{air} = \Delta n L$

等相面的偏转角 $\theta$ 为：

$$\tan \theta = \frac{\Delta y}{d} = \frac{\Delta n L}{d}$$

当 $\theta$ 较小时，

$$\theta \approx L \frac{\Delta n}{d} = L \frac{dn(x)}{dx}$$

即光线偏转角正比于折射率梯度

## 光电子技术 (14)

例：由两块楔形KDP晶体组成的电光偏转器，两块楔形晶体的 $x'$ 、 $y'$ 主轴绕Z轴相对旋转90度，沿Z向加电场，如图70所示。

高度 $x'$ 的光线通过此调制器后的光程为：

$$OPL(x') = \frac{L(d-x')}{d} n_{x'} + \frac{Lx'}{d} n_{y'}$$

所以，折射率为：

$$n(x') = \frac{(d-x')}{d} n_{x'} + \frac{x'}{d} n_{y'}$$

折射率梯度：
$$\frac{dn(x')}{dx'} = (n_{y'} - n_{x'}) / d = n_0^3 \gamma_{63} E_z / d = \frac{n_0^3 \gamma_{63} V_z}{hd}$$

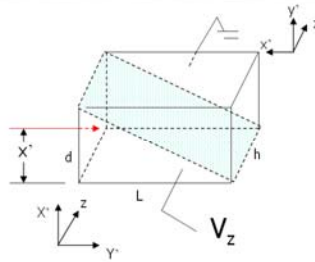


图70、KDP横向应用电光偏转器，光线在第一块晶体中走的光程为： $(d-x')L/d \cdot n_{x'}$ ，在第二块晶体中走过的光程为： $Lx'/d \cdot n_{y'}$

## 光电子技术 (14)

所以，光线的偏转角为：
$$\theta = L \frac{dn(x')}{dx'} = \frac{Ln_0^3 \gamma_{63} V_z}{hd}$$

所以，偏转角不仅与调制电压有关，而且与调制器的几何结构有关。

数字式电光偏转器如图71所示。光束只能到达两个位置“0”和“1”，分别对应“无”和“有”半波电压。两个状态间的光束最大距离为：

$$b = l \tan \varepsilon_{\max}$$

对应的光轴与光线间的夹角为：

$$\gamma_{\max} = \tan^{-1} \left( \frac{n_e}{n_o} \right)$$

如图72所示为一个 $2^m$ 位的数字偏转器，由 $m$ 对半波调制器与检偏器的组合。它相当于一个数字电路中的“译码器”

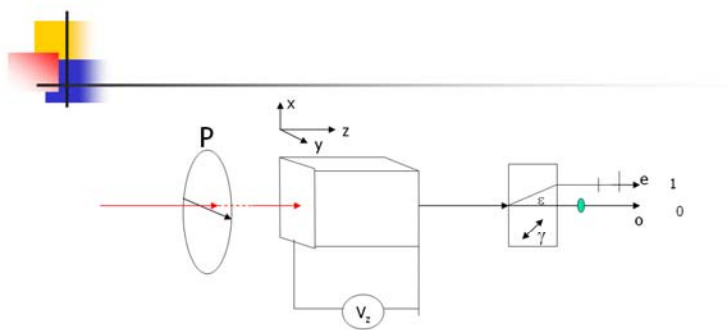


Fig.71 KDP数字电光偏转器，两状态



## 光电子技术 (14)

### 三、声光偏转

根据布拉格衍射条件:  $2\lambda_s \sin \theta_B = \lambda$

改变声波波长 $\lambda_s$ , 则可改变布拉格衍射角 $\theta_B$ 。所以, 可通过控制超声波长来控制光束的偏转。

由于 $\lambda_s \gg \lambda$ , 所以,  $\theta_B \rightarrow 0$ , 布拉格衍射条件可简化为:

$$\theta = 2\theta_B \approx \frac{\lambda}{\lambda_s} = \frac{\lambda}{v_s} f_s \quad \Rightarrow \quad \Delta\theta = \frac{\lambda}{v_s} \Delta f_s$$

式中 $\theta$ 为光束的偏转角, 相对入射方向,  $v_s$ 为声速。

对数字式声光偏转器, 一个重要指标是可分辨的光斑数目。设光束直径为 $D$ , 则光束的发散角:  $\theta_d = 1.22 \frac{\lambda}{D} \approx \frac{\lambda}{D}$



## 光电子技术 (14)

则在 $\Delta\theta$ 扫描角范围内, 可分辨的点数为:

$$N = \frac{\Delta\theta}{\theta_d} = \frac{D}{v_s} \Delta f_s = \tau * \Delta f_s$$

式中 $\tau = D/v_s$ , 为声波的渡越时间。这表明 $D$ 和 $\Delta f_s$ 大,  $v_s$ 小可提高分辨点数。

通常入射光的方向是不变的, 当声波频率改变时, 要保持布拉格条件, 就必须改变超声波的传播方向, 以实现对布拉格角的跟踪。通常采用阵列换能器, 总的超声波为各阵列元产生的超声波的迭加形成。通过控制各阵列元间的位相差或延迟时间, 就能控制合成超声波前的传播方向, 实现布拉格角随频率的跟踪。如图73所示

此外, 利用各向异性介质产生反常布拉格衍射可以提高带宽, 制

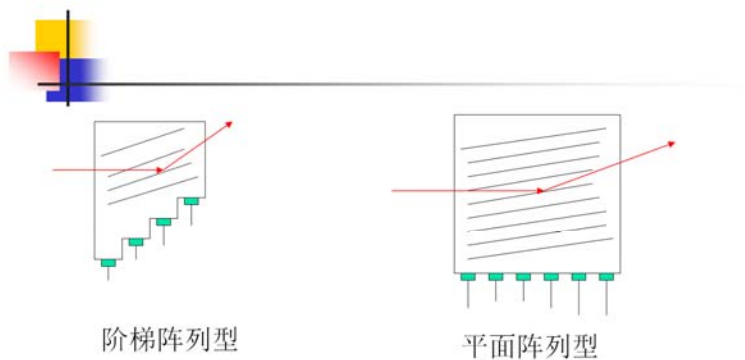


图73、布拉格角的频率跟踪

## 光电子技术 (14)

成宽带布拉格偏转器。有关反常布拉格衍射的理论分析较复杂，不去深究了。目前主要在 $\text{TeO}_2$ 材料中发现了反常布拉格衍射现象。

在各向异性介质中，反射光与入射光的折射率不同，反射角与入射角之间满足与折射定律类似的公式，当反射光的折射率小于入射光的折射率时，衍射角变化量能够得到放大。



## 光电子技术(14)

### 第四章 光辐射探测器

#### § 4.1 光辐射探测方法

根据光探测器对光辐射所产生的物理效应不同，光辐射探测法可分为：光压法、光热法和光电法。

##### 一、光压法

光压法利用光的量子特性，光子具有动量和动能：

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad E = h\nu = mc^2$$

当光子投射在反射表面上被反射时，根据冲量定理，

$$F \cdot \Delta t = \Delta p$$



## 光电子技术(14)

式中 $\Delta p$ 为沿反射面法线方向的光子动量变化， $\Delta t$ 为光子与反射面间的作用时间。

通过测量冲力 $F$ 的大小就能测量光的动量和能量，如图74所示装置通过测量光冲力引起的转角变化来测量光能量。转角与光能量间关系为：

$$\theta = \frac{2IE}{C\sqrt{IK}}$$

式中 $I$ 为转动惯量， $K$ 为弹簧的扭转弹性系数， $l$ 为转臂长度。

##### 二、光热法

光热法是利用物质吸收光能后，温度升高或温度升高而引起物质的某个参数变化来探测光能量的。

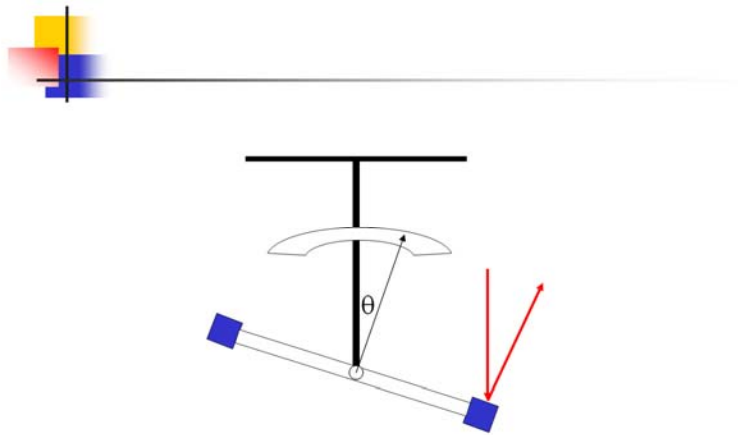


图74、转角式光压计

## 光电子技术(14)

### 1、碳斗

以碳为吸收体的圆锥形热探测器，称为碳斗。碳斗的特点是结构简单，制造容易，光谱响应范围宽，并且响应均匀，被广泛应用于各类激光的能量的绝对测量。缺点是响应时间长或响应速度慢。

碳斗的温度变化可以直接测量，也可以测量对温度敏感的某个物理量的变化。下面的热电偶、热电阻、热释电等探测器。

### 2、热电偶探测器

热电偶探测器利用温差电效应测量温度变化。热电偶结构如图75所示，由两条不同材料的金属丝焊接在一起组成。

### 3、热电阻探测器



## 光电子技术(14)

热电阻探测器即热敏电阻。电阻随温度而变化，电阻温度系数定义为：

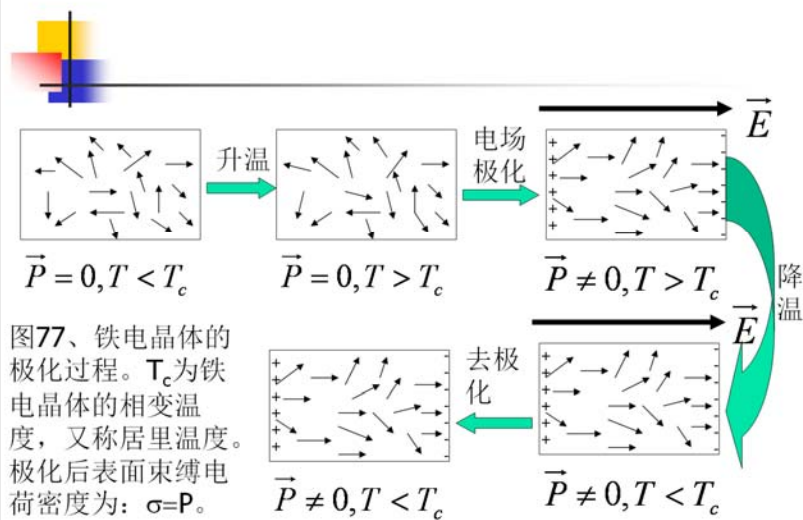
$$\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$$

$\rho$ 为材料的电阻率。 $\alpha > 0$ 为正温度系数， $\alpha < 0$ 为负温度系数。

热电偶和热电阻的响应速度均较慢。

### 4、热晶体探测器-热释电探测器

热释电探测器材料是一种铁电材料，由大量的极性分子组成，每个极性分子都具有偶极矩。通常大量的极性分子是随机取向，各向同性的，所以不显示出宏观偶极矩，如图76。然而，铁电晶体具有相变记忆特性，如图77所示，利用这一特性，能够极化铁电晶体，使其产生各向异性，出现宏观偶极矩。因而，在与偶极矩垂直的表面





## 光电子技术(14)

上出现束缚电荷，进而产生电势差： $\Delta V = El = \frac{Pl}{\epsilon_0 \chi_e}$

式中 $P$ 为极化强度， $l$ 为晶体沿 $P$ 方向的长度， $\chi_e$ 为晶体的极化率。

极化的热释电晶体如何测量光能量？

在低于居里温度范围 $T < T_c$ 内，极化强度 $P$ 是温度 $T$ 的递减函数，当此晶体吸收光能量，温度升高时，电势差 $\Delta V$ 减小：

$$\Delta V \propto P \propto \frac{1}{T} \propto \frac{1}{E} = \frac{1}{nh\nu}$$

只要定标电势差与光能量间的关系，就能通过测量电势差获得光能量。

优点：响应光谱范围宽、均匀，响应速度快。



## 复习要点

- 1、激光束偏转，模拟与数字偏转？
- 2、机械偏转技术的原理、特点？
- 3、电光偏转技术的原理、特点？典型模拟和数字偏转期结构？
- 4、声光偏转技术的原理、特点？声光偏转器的结构，如何实现布拉格角的自动调制？分辨点数？
- 5、光探测方法分类？光热法，光压法的测量原理？
- 6、热释电探测器的材料结构、极化原理？光谱和时间响应特点？



## 作业十四

---

- 1、设计一个三位数字电光偏转器，标注八个输出态。
- 2、说明声光偏转器的布拉格衍射角的自动跟踪原理？