

## 光电子技术 (11)

### 3、脉冲调频(PFM)

PFM是使激光载波脉冲的重复频率随调制信号幅度变化，教材上写脉冲调频信号为：

$$e(t) = A_0 \cos[\omega_0 t + \omega_d \int M_n(t_n) dt] \quad t_n \leq t \leq t_n + \tau$$

我认为此式看上去像一个均匀脉冲序列，只是每个脉冲中激光振荡的初相位不同吧了，不直观。直观的表达式应该是：

$$e(t) = A_0 \cos \omega_0 [t + \omega_d \int M(t_n) dt] \quad t_n \leq t \leq t_n + \tau$$

上式表示时间平移，而平移量随调制信号变化，所以序列不均匀，即脉冲调频。如图58a所示。

### 4、脉冲位置调制

使周期脉冲的位置随调制信号变化，结果与脉冲调频一样。调位信

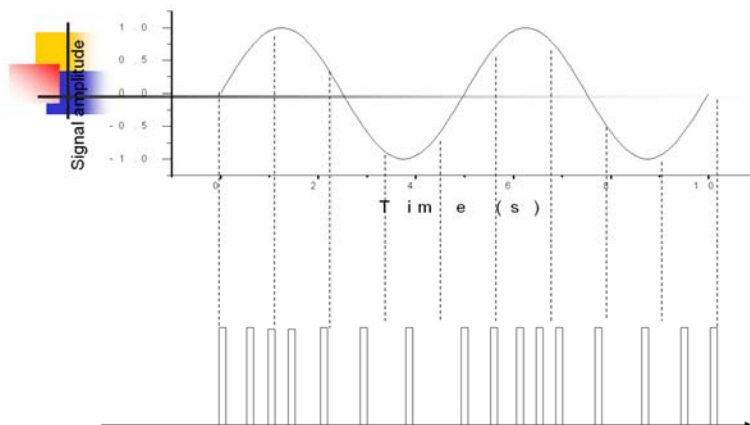


Fig.58a 脉冲调频

## 光电子技术 (11)

$$\begin{aligned} \text{号可表示为: } e(t) &= A_0 \cos \omega_0 t & t_n + \tau_d \leq t \leq t_n + \tau_d + \tau \\ \tau_d &= \tau_p [1 + M(t_n)] / 2 & |M(t_n)| < 1 \end{aligned}$$

$\tau_p$ 为脉冲序列周期。调制结果如图。

脉冲调位和调频具有较强的抗噪声能力，在半导体激光通讯中得到广泛应用。

### 三、脉冲编码调制

前面的连续调制和脉冲调制均为模拟调制，通过使光束的某一个参数随信号变化实现信号的调制与传输。如果噪声也使被调制参数发生变化，接受者就不能区分这种变化是信号或是噪声，所以，模拟调制的抗干扰能力差。为此，发展脉冲编码调制技术，它是数字调制。具有强的抗噪声干扰能力。

## 光电子技术 (11)

脉冲编码调制（PCM）首先通过A/D转换器将模拟信号转换为某一字长的数字信号。然后再逐位调制光载波的某个参数，实现信息光传输。显然，PCM中的每个脉冲只代表一数字化信号中的一个位，而一个位可能为0或1，所以只要用“强”或“弱”脉冲分别表示1或0即可，而脉冲幅度在容许范围内的变化并不具有实际意义，这就是PCM能抗噪声干扰的原因。然而，PCM的强抗干扰能力是以牺牲传输速率为代价的。例如A/D为8位，那么就要8个脉冲才能代表一个状态。同样传输带宽的有效数据传输速率就只有模拟传输的1/8，或者反过来，要保持两者相同的有效数据传输率，PCM传输的带宽就要增至模拟带宽的8倍。为了既保持PCM的强抗干扰能力，又保持有效传输带宽不减少，所以采用数据编码和压缩技术。数据编码与压缩是通讯领域的重要研究内容。也是数据存储中的重要研究内容。

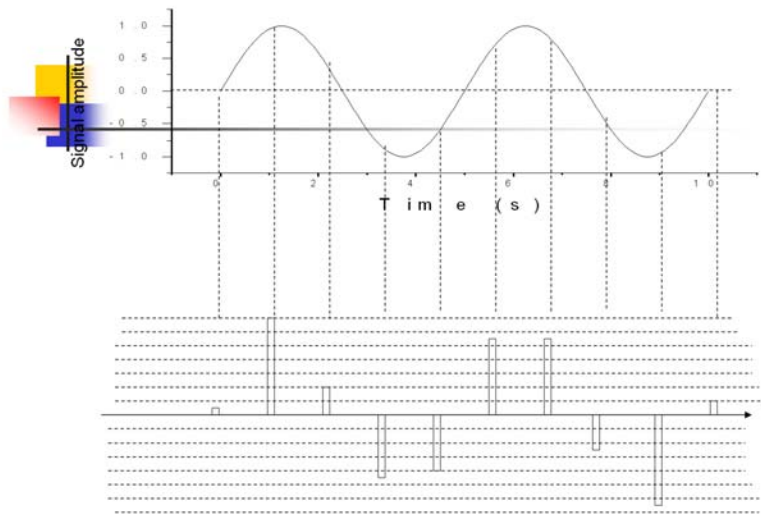


Fig.59a PCM脉冲编码调制中的采样与量化

## 光电子技术 (11)

PCM包括强度、频率和相位调制

### 1、PCM强度调制

强度调制就是以强脉冲表示数字位“1”，而以弱脉冲表示数字位“0”。如8位A/D采样获得的8位字“11001001”的强度调制脉冲为：

→ 201

### 2、PCM频率调制

PCM频率调制是利用两种不同频率的激光脉冲分别表示数字位“1”和“0”。例如8位字“11001001”的频率调制为：

### 3、PCM相位调制

PCM相位调制相当于脉冲位置调制。以标准位置脉冲表示位“1”，



## 光电子技术 (11)

而以移位脉冲表示数位“0”，如8位字“11001001”的相位调制脉冲为：



### § 3.2、电光调制

上一节讲的各种调制（连续、脉冲和脉冲编码）技术都需要通过调制器来实现。调制器如何实现调制就是下面要讲的内容。

#### 一、晶体光学基础

双折射现象：当一束光折射进某些物质中产生两束折射光束的现象。一束光称为寻常光（o光），另一束光称为非寻常光（e光）。

o光：折射率与传波方向无关的光束，即各向同性光束。



## 光电子技术 (11)

e光：折射率随传波方向变化，即各向异性光。

光轴：双折射材料中，不改变光的偏振状态、不产生双折射的传播方向。（只有一个光轴的为单轴，否则为多轴。）

主平面：由光线与光轴组成的平面。

O光主平面：o光波矢量与光轴组成的平面

e光主平面：e光光线矢量与光轴组成的平面

主截面：e光主平面与o光主平面重合的平面。

O、e光的偏振：o光的偏振方向垂直于主截面，而e光的偏振方向位于主截面内。O、e光的偏振方向互相垂直。



## 光电子技术 (11)

折射率椭球

在各向异性晶体中，电位移矢量 $\vec{D}$ 与电场矢量 $\vec{E}$ 之间通过电介张量联系起来，即：

$$\vec{D} = [\varepsilon_{ij}] \vec{E}$$

通过选择适当的坐标系XYZ，可以实现电介张量 $[\varepsilon_{ij}]$ 的对角化，即

$$\varepsilon_{ij} = \begin{cases} \varepsilon_i & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases}$$

称这样的XYZ坐标轴为介电主轴。在介电主轴坐标系中，光率体为一椭球，椭球方程为：

$$\frac{x^2}{\varepsilon_1} + \frac{y^2}{\varepsilon_2} + \frac{z^2}{\varepsilon_3} = 1$$

⏮ / ⏭ ⏮



## 光电子技术 (11)

因  $\varepsilon = n^2$ ，所以，光率体可写为：

$$\frac{x^2}{n_x^2} + \frac{y^2}{n_y^2} + \frac{z^2}{n_z^2} = 1$$

上式即为在主坐标系中的双折射晶体的折射率椭球方程。 $n_x$ ,  $n_y$ ,  $n_z$ 分别为沿X, Y, Z方向的主折射率。

折射率椭球的性质：

双折射晶体中，任一波矢量 $\vec{k}$ 对应两个相互正交偏振的电位移分量 $D_1$ 和 $D_2$ ，过折射率椭球中心做与 $\vec{k}$ 垂直的平面，此平面与椭球相交形成一椭圆，则

(1)、 $D_1$ 与 $D_2$ 分别平行于相交椭圆的长、短轴方向。



## 光电子技术 (11)

(2)、沿 $D_1$ 和 $D_2$ 偏振的两个分量的折射率分别等于对应的椭圆主轴的半长度。

单轴晶体：只有一个光轴的双折射晶体。单轴晶体的折射率椭球为绕光轴的旋转椭球。

正单轴晶体：非寻常光折射率 $n_e$ 大于寻常光折射率 $n_o$ 的单轴晶体。

负单轴晶体：指 $n_e < n_o$ 的单轴晶体。

### 二、电光效应

指晶体的折射率随外加电场而变化的效应。电光效应有一阶、二阶效应，电光调制是利用一阶，也即线性电光效应。

在任意直角坐标系中，折射率椭球方程可表示为：



## 光电子技术 (11)

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{23}yz + 2a_{31}xz = 1$$

外电场作用下，折射率椭球系数发生变化，变化量为：

$$\Delta a_{ij} = \sum_k \gamma_{ijk} E_k + \sum_{k,l} b_{ijkl} E_k E_l$$

### 三、线性电光效应

线性电光效应引起的折射率椭球系数变化量为：

$$\Delta a_{ij} = \sum_k \gamma_{ijk} E_k$$

$[\gamma_{ijk}]$ 为三阶张量，有27个分量。但由于晶体对称性要求 $\Delta a_{ij} = \Delta a_{ji}$ ，故 $[\gamma_{ijk}]$ 中只有18个独立分量。将 $[\gamma_{ijk}]$ 中的双下标ij用一个下标m替换，即为 $[\gamma_{mk}]$ ，其中 $m=1, 2, \dots, 6$ 。m与ij的对应关系为：



## 光电子技术 (11)

ij: 11, 22, 33, 23, 32, 13, 31, 12, 21  
m: 1, 2, 3, 4, 5, 6

折射率椭球方程改写为:

$$a_1x^2 + a_2y^2 + a_3z^2 + 2a_4yz + 2a_5xz + 2a_6xy = 1$$

系数变化量为:

$$\Delta a_m = \sum_k \gamma_{mk} E_k$$

或

$$\begin{pmatrix} \Delta a_1 \\ \Delta a_2 \\ \Delta a_3 \\ \Delta a_4 \\ \Delta a_5 \\ \Delta a_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} \\ \gamma_{41} & \gamma_{42} & \gamma_{43} \\ \gamma_{51} & \gamma_{52} & \gamma_{53} \\ \gamma_{61} & \gamma_{62} & \gamma_{63} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{pmatrix}$$



## 光电子技术 (11)

下面分析KDP晶体的电光效应

在主轴坐标系中, KDP晶体的电光张量矩阵为:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \gamma_{41} & 0 & 0 \\ 0 & \gamma_{41} & 0 \\ 0 & 0 & \gamma_{63} \end{pmatrix}$$

主折射率为:

$$a_1 = a_2 = \frac{1}{n_0^2}, a_3 = \frac{1}{n_e^2}, a_4 = a_5 = a_6 = 0$$





## 光电子技术 (11)

加电场下，折射率椭球各系数的变化量为：

$$\Delta a_1 = \Delta a_2 = \Delta a_3 = 0, \Delta a_4 = \gamma_{41} E_1, \Delta a_5 = \gamma_{41} E_2, \Delta a_6 = \gamma_{61} E_3$$

外加电场下折射率椭球方程为：

$$\frac{x^2}{n_0^2} + \frac{y^2}{n_e^2} + 2\gamma_{41} E_x yz + 2\gamma_{41} E_y xz + 2\gamma_{63} E_z xy = 1$$

### 四、纵向和横向电光调制

纵向电光调制指电场方向与光波矢量平行，而横向电光调制指电场方向与光波矢量垂直。



## 复习要点

- 1、脉冲调制技术，物理意义及调制信号的数学表示？
- 2、脉冲编码调制？量化、编码的物理意义？
- 3、脉冲编码技术？脉冲编码调制的优点，缺点？
- 4、双折射现象、主平面、主截面？O、e光的偏振态？
- 5、折射率椭球及其物理意义？如何依据折射率椭球确定光的偏振态？
- 6、线性电光效应及其计算？



## 作业十一

- 1、脉冲调制和脉冲编码调制的异同和优缺点？
- 2、已知单轴晶体的折射率椭球和波矢方向，如何确定对应该波矢的两个可能的线偏振光的振动方向？
- 3、基于折射率椭球性质，解释锥光干涉图的形成原理

