

除,也难以补偿。另一类,是自然双折射变化所引起的工作点漂移。对于采用配对晶体构成的组合调制器,虽然这种自然双折射的变化理论上可以得到补偿,但限于材料的均匀性、定向加工和装调的精度,实际上不可能得到完全的补偿。此类不稳定性,可以通过附加一个光偏压或电偏压加以控制。

实验表明,这两类不稳定性都存在。但如连续工作时间不太长(例如12小时以内),则工作点的漂移是主要的。而且在小功率应用时,这种自然双折射的变化和附加的折射率分布的不均匀性,都不是永久的,经休息后可以复原。

造成工作点漂移的因素有二:一是晶体温度的变化,包括环境温度的变化和晶体吸收光而发热引起的升温;一是光束偏折,包括激光束本身的方向不稳定性及晶体中由于散热不均匀和晶体热膨胀所形成的温度梯度造成的光束偏折。本文估算了光束偏折所引起的漂移量,并认为这二种因素虽同时存在,但在小功率应用时,光束偏折是主要的。因此,选用光束方向较为稳定的激光器作光源,并减小了晶体的温度梯度后,工作点的漂移即显著改善,可以在三小时内稳定地工作。

本文讨论了施加偏压以控制工作点漂移的范围和能力。若激光器的功率稳定度在 $\pm 3\%$ 左右(1小时),则在十小时内,可使消光比的变化控制在 $\pm 10\%$ 以内;十三小时内,控制在 $-20\%$ 以内;如每天工作八小时,则调制器经一次调整后即可长期稳定地工作(消光比变化在 $\pm 10\%$ 以内)。

最后,提出了一个调制器偏置于零或极大值时的偏压自动控制方案。

## 声光器件的工作原理和设计方法

### (I) 正常布喇格衍射器件

北京工业大学 徐介平

正常器件的特征在于入射光和衍射光具有相同的偏振状态,由于偏转角一般很小,故有 $n_i = n_d$ ,从而 $k_i = k_d$ ,因此动量三角形为一等腰三角形,由此易得布喇格方程:

$$\theta_i = \theta_d = \theta_B, \quad \sin \theta_B = \frac{\lambda}{2A} = \frac{\lambda}{2v} f$$

其中 $f$ 为超声频率而 $v$ 为声速,偏转角 $\alpha$ 则为

$$\alpha = \theta_i + \theta_d = 2\theta_B \approx \frac{\lambda}{v} f$$

当量 $Q \equiv \frac{2\pi\lambda L}{A^2 \cos^2 \theta_i} \geq 4\pi$ 时,除零级光和正(或负)一级衍射光外其它各级衍射光均很弱可以略去,称为布喇格衍射,此时衍射效率为

$$\eta = \frac{I_1}{I_0} = \sin^2 \left[ \frac{\pi}{\lambda_0 \cos \theta_i} \sqrt{\frac{M_2 P_a L}{2H}} \right]$$

其中 $M_2 \equiv \frac{n^6 p^2}{\rho v^3}$ 仅由声光材料本身性质决定,称为声光优值。因此改变超声频率 $f$ 可改变衍射光方向,而改变超声功率 $P_a$ 则可改变衍射光的强度,亦即可以起到控制激光束方向和强弱的目的。

为了保证 $Q \geq 4\pi$ 和得到尽量大的 $\eta$ 都要求声光互作用长度 $L$ 足够大,但为了能在较大频率范围 $4f$ 内保证布喇格方程得到满足(称为布喇格带宽),必须限制 $L$ ,因此设计声光器件的关键在于 $L$ 的合理选取,引入声光器件的特征长度 $L_0 \equiv \frac{A^2}{\lambda}$ 可使各设计公式大为简化。首先进入布喇格区的条件 $Q \geq 4\pi$ 可简化为 $L \geq 2L_0$ 。

除衍射效率 $\eta$ 外,偏转器的主要指标为可分辨点数 $N$ 和偏转速度 $\frac{1}{\tau}$ ,容易证明其乘积(称为速度-容量

积)  $N \cdot \frac{1}{\pi} = \frac{\Delta f}{R}$  即仅决定于工作带宽  $\Delta f$  ( $R$  为一取值在  $1 \sim 2.5$  间的常数, 由光束特性和可分辨判据决定), 它包括换能器带宽和布喇格带宽。当换能器取单片结构时, 为了提高布喇格带宽只能减小  $L$ , 可以证明为了同时获得 1 分贝布喇格带宽和整个频带均进入布喇格衍射区,  $L$  的选取和所能达到的相对带宽  $\Delta F = \frac{\Delta f}{f_0}$  分别为 ( $L_0^{(c)}$  为中心频率处的特征长度)

$$L = 3L_0^{(c)} \quad \text{和} \quad \Delta F = 0.35$$

而为了获得 4 分贝布喇格带宽和全部进入布喇格区

$$L = 4L_0^{(c)} \quad \text{和} \quad \Delta F = 0.56$$

单片结构的超声利用率很低, 更有效的办法是把换能器分片, 并利用多束超声干涉加强的方向来完成声光互作用, 此方向是随频率变化的, 因而可在一定程度上自动跟踪布喇格角, 此时必须合理选取各片换能器的中心距  $s$ , 当分片不是太多时(例如 4 片或 6 片),  $s = 1.2L_0^{(c)}$ 。

除衍射光强  $I_d$  外调制器的指标只是调制速度, 对于脉冲调制器希望  $\frac{I_d}{t_r}$  达到最大 ( $t_r$  为光脉冲上升时间), 而对于正弦型调制器则希望  $I_d \cdot f_m$  ( $f_m$  为 3 分贝调制带宽) 达到最大, 可以证明两者均在

$$a \equiv \frac{\Delta \phi}{\Delta \theta} = \frac{\frac{4}{\pi} \frac{\lambda}{d_0}}{\frac{\Delta}{L}} = \frac{4\lambda L}{\pi d_0 \Delta} = 1.5$$

时达到最佳值; 结合零级光和衍射光的角分离条件 ( $f_0$  为载波频率)

$$\frac{\lambda}{v} f_0 \geq 2 \times \frac{4}{\pi} \frac{\lambda}{d_0}$$

容易得到

$$L = 3L_0, \quad t_r \approx \frac{2}{f_0}, \quad f_m = \frac{1}{4} f_0$$

最后应该指出: 声光器件用作偏转器和调制器所依据的工作原理和器件结构是一样的, 因此只要在设计上作适当考虑, 一个声光器件可有效地同时起偏转和调制作用, 并已得到许多巧妙的应用。

## 声光器件的工作原理和设计方法

### (II) 反常布喇格衍射器件

北京工业大学 徐介平

反常器件的特征在于入射光和衍射光具有不同的偏振状态, 因而必有  $n_1 \neq n_2$  或  $k_1 \neq k_2$ , 按反常布喇格衍射原理工作的声光偏转器总取  $k_1 > k_2$  (即入射光取相速较小的本征模), 而且工作在超声  $\mathbf{K}$  方向与衍射光  $\mathbf{k}_2$  方向互相垂直的状态附近, 由简单作图易见此时代  $\mathbf{K}$  方向的很小变化(即很小的超声发散角  $\Delta \theta_a$ ) 可引起很大的  $\mathbf{k}_2$  方向的改变(即很大的扫描角  $\Delta \alpha$ ), 亦即反常器件易于获得较大的布喇格带宽从而得到很大的可分辨点数。对于属 422 晶类的  $\text{TeO}_2$  单晶, 当超声波为沿 [110] 方向传播且质点振动沿 [110] 方向的切变波时, 不仅确可使衍射光的偏振状态与入射光不同(这要求相应的形变  $S_{xi}$  能改变折射率椭球主轴的方向), 而且此切变波的声速仅为 616 米/秒, 比固体内一般声速要小 5~6 倍, 声速小时特征长度  $L_0 \equiv \frac{\Delta^2}{\lambda} = \frac{v^2}{\lambda f^2}$  很小而声光优值  $M_2 \equiv \frac{n^6 p^2}{\rho v^3}$  很大, 因此按反常布喇格衍射工作的  $\text{TeO}_2$  声光偏转器将具有小型、高效率且可分辨点数很大等优点。

但当  $\mathbf{K}$  方向严格沿 [110] 方向时(称为沿轴型), 由于折射率曲面面对 [001] 方向对称, 入射光  $\mathbf{k}_1$  按  $\mathbf{k}_2 = \mathbf{k}_1 + \mathbf{K}$  衍射为  $\mathbf{k}_2$  后, 同样频率的超声可使  $\mathbf{k}_2$  按  $\mathbf{k}'_1 = \mathbf{k}_2 + \mathbf{K}$  发生再衍射, 因此沿轴型器件的衍射效率在频带