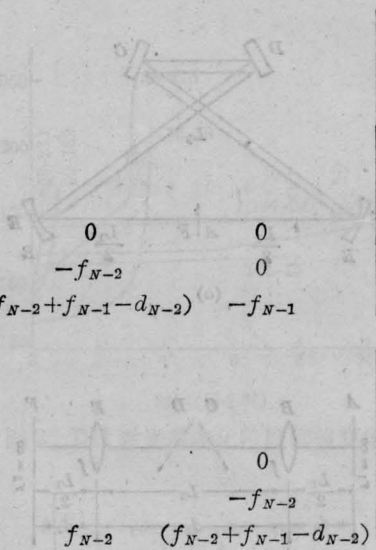


$$|D_{0,N}| = \begin{vmatrix} -f_1 & 0 & \dots \\ (f_1+f_2-d_1) & -f_2 & \\ -f_2 & (f_2+f_3-d_2) & \\ 0 & -f_3 & \\ \vdots & 0 & \\ \vdots & 0 & \\ \vdots & 0 & \\ -f_{N-2} & (f_{N-2}+f_{N-1}-d_{N-2}) & -f_{N-1} \end{vmatrix}$$

$$|D_{N-1,N}| = \begin{vmatrix} (f_1-d_0) & -f_1 & 0 & \dots \\ -f_1 & (f_1+f_2-d_1) & -f_2 & \\ 0 & -f_2 & \vdots & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \end{vmatrix}$$



参 考 文 献

- [1] H. Kogelnik, T. Li; *Appl. Opt.*, 1966, **5**, No. 10, 1550~1567.
- [2] C. P. Wang, R. L. Sandstrom; *Appl. Opt.*, 1975, **14**, No. 6, 1285~1289.
- [3] W. W. Rigrod; *BSTJ*, 1965, **44**, No. 5, 909~

- 916.
- [4] S. A. Jr. Collins; *Appl. Opt.*, 1964, **3**, No. 11, 1263~1275.
- [5] 激光物理编写组;《激光物理学》,上海人民出版社, 1972年.

(中国计量科学研究院 廖复中
1980年11月10日收稿)

GaAs 电光调相器

Abstract: This paper describes the principle, design and construction of the GaAs electron-optic phase modulator. The expression for voltage has been derived on both ends of the modulated crystal as a function of matching circuit parameter and the output power of the modulating source. The measuring technique and experimental results are presented.

原理与结构

所谓电光调相,就是利用电光晶体(即介质)的折射率随着外加电场而变化的性质(称为电光效应)来实现对光波进行相位调制。

对于 CO₂ 激光光波而言,其波长为 10.6 微米。在该波长上的电光晶体有硫化锌(ZnS)、氯化铜(CuCl)、碲化镉(CdTe)和砷化镓(GaAs)等。目前国内用得较多的是 GaAs 晶体。它属于 43m 晶系。线性电光系数 $\gamma_{41} = 1 \times 10^{-7}$ 厘米/千伏。

图 1 所示是 GaAs 电光调相器原理装置图。其中(110)、 $(\bar{1}\bar{1}0)$ 和(001)分别表示 GaAs 晶体的三个

切割面。晶体的长度为 l ,厚度为 d 。在晶体的[110]方向加电场(即加调制电压)。

当直线偏振光的传播方向沿 GaAs 晶体的 y 轴,而其偏振方向与 x 轴、 z 轴均为 45° 时,则引起光波

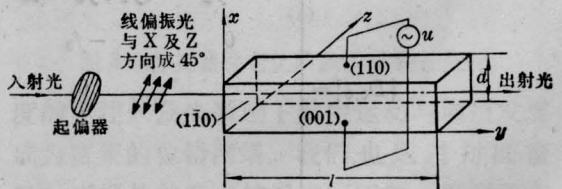


图 1 GaAs 电光调相器

的相位延迟为

$$\varphi = \frac{\pi}{\lambda} n_0^3 \gamma_{41} \frac{l}{d} u \quad (1)$$

式中 n_0 为晶体折射率, GaAs 晶体 $n_0 = 3.34$; λ 为激光光波的工作波长; u 为外加调制电压的瞬时值。

设外加调制信号 $u = U_m \sin \omega_m t$, 则上式可写为

$$\varphi = \frac{\pi}{\lambda} n_0^3 \gamma_{41} \frac{l}{d} U_m \sin \omega_m t \quad (2)$$

因为调相指数 m_φ 即为峰值相位延迟, 故

$$m_\varphi = \varphi_m = \frac{\pi}{\lambda} n_0^3 \gamma_{41} \frac{l}{d} U_m \approx 0.015 \frac{l}{d} U \text{ (弧度)} \quad (3)$$

式中 U_m 为调制信号电压之峰值, U 为其有效值(单位为千伏)。

当调制频率较高时(兆赫以上), GaAs 电光调制器的等效电路如图 2 所示。其中 C_0 是调制晶体(GaAs)的电容; C_B 是可变电容器; C_T 是微调电容器; C_M 为分布电容; L 是并联电感, 它与电容 ($C = C_0 + C_B + C_T + C_M$) 应谐振于调制频率 f_m , 即 $\omega_m^2 = \frac{1}{LC}$; R_L 是分流电阻, 即谐振阻抗。

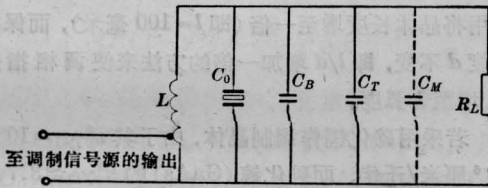


图 2 电光调制器的等效电路

图 3 是 80-I 型 GaAs 电光调制器的实物照片(去外罩)。

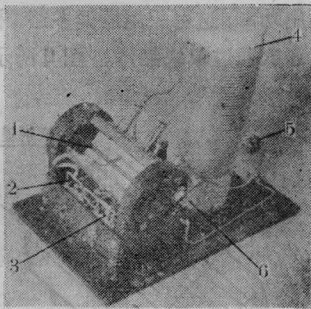


图 3 80-I 型电光调制器照片(去外罩)

1—GaAs 晶体; 2—可变电容器 (C_B); 3—微调电容器 (C_T); 4—电感 L ; 5—调制输入端; 6—调节 ($\pm 45^\circ$) 机构

因为 GaAs 晶体是夹装在两个镀银的金属电极间, 如果电极加工不佳, 会使电极与晶体表面之间形成空隙而构成电容。我们在 80-I 改进型中, 将采用在 GaAs 晶体的两个表面上先镀一层很薄的铬, 然后再镀一层较厚的金属, 也就是把两个电极直接制作在电光晶体的两个表面上。

匹配网络

由调相指数 $m_\varphi \approx 0.015 \frac{l}{d} U_{\text{千伏}}$ 可知, 当 $l/d = \frac{50}{3}$ 时, 欲获得 0.5 弧度的调相指数, 则调制电压的有效值 U 为 2 千伏。但是, 一般调制信号源的输出是低阻抗(50 欧)、大功率的。为此, 必须采用相应的匹配网络。

图 4 所示是常用的两种匹配网络。图 4(a) 为电容分压式匹配网络; 图 4(b) 是电感抽头式匹配网络。图中 R_L 为 C 与 L 谐振于调制频率 f_m 时的谐振阻抗。

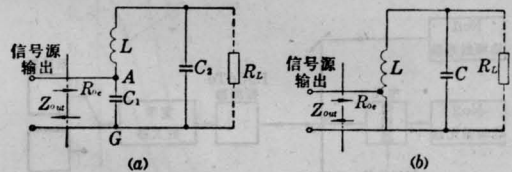


图 4 两种常用的匹配网络

对于图 4(a) 而言, AG 间的谐振阻抗 R_{oe} 为

$$R_{oe} = \left(\frac{C_2}{C_1} \right)^2 \rho Q$$

式中 $C_2 = C_0 + C_B + C_T + C_M$; $\rho = \omega_m L$;

$Q = \frac{\rho}{\gamma}$ 是电感 L 的品质因数(忽略电容器的损耗)。

根据匹配条件, 则有 $R_{oe} = Z_{out}$ (Z_{out} 是调制信号源的输出阻抗), 故

$$\frac{C_1}{C_2} = \sqrt{\frac{\rho Q}{Z_{out}}} \quad (5)$$

设调制信号源的输出功率为 P (瓦), 则其输出电压(即电容 C_1 上的电压) $U_{O_1} = \sqrt{P Z_{out}}$ 。又因为 $\frac{U_{O_2}}{U_{O_1}} = \frac{C_1}{C_2}$, 故调制晶体两端电压为

$$U = U_{O_2} = \frac{C_1}{C_2} U_{O_1} = \sqrt{\rho Q P} \quad (6)$$

由此可见, 当已知调制信号源的输出功率 (P)、网络电感 L 的特征阻抗 ($\rho = \omega_m L$) 及品质因数 Q , 便可求得晶体两端的调制电压, 因而求出调相指数 m_φ 。

计算表明, 对于图 4(b) 的匹配网络, 加到电光晶体两端的电压也为 $U = \sqrt{\rho Q P}$, 因此这两种匹配网

络的效果是相同的。

指标的测试方法及其结果

下面以 80-I 型 GaAs 电光调相器为例来阐述调相器主要指标的测试方法,并列出结果作参考。

调相器插入损耗,指光路中“插入”调相器部件后所引起的光强之衰减量。

测量时应先测量“插入”调相器时的功率 P_2 (用氩-氦激光器仔细对准光路),然后取走调相器盒,测出此时激光功率 P_1 ,则调相器的插入损耗 $\beta = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}$ 。

实测 80-I 型 GaAs 电光调相器的 $P_1 = 350$ 毫瓦, $P_2 = 260$ 毫瓦,故 $\beta = 10 \lg \frac{260}{350} = -1.3$ 分贝。

调相指数 m_ϕ 的测量,其测试方法的理论见参考文献[1]。图 5 所示为其测试方框图。其中 16-A 型光谱分析仪是用来监视 No. 1 激光器的输出谱线,以保证其工作于 $P(20)$ 支线上。

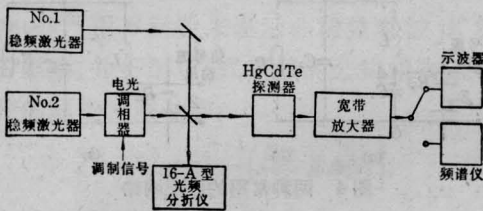


图 5 测试调相指数 m_ϕ 的方框图

借助于氩-氦激光器,使二支 CO_2 (稳频)激光器的输出光束平行地入射至 HgCdTe 探测器的表面上。调节 No. 2 激光器的压电陶瓷两端的直流偏压,使得在示波器上呈现一清晰的外差波形。然后将宽带放大器的输出接到频谱仪的输入端,调节频谱仪的增益旋钮,使外差信号的幅度适中,设此时格数(每格 1 厘米)为 N_1 (线性挡)。在调相器的输入端加上额定的调制电压,这时频谱仪上的幅度将下降,设此时的格数为 N_2 ,则

$$J_0(m) = J_0(m_\phi) = \frac{N_2}{N_1} \quad (7)$$

式中 $J_0(m)$ 是宗数为 m (此处即为调相指数) 的第一类零阶贝塞尔函数。求得 $J_0(m)$, 便可查阅贝塞尔函数表,求出调相指数 $m = m_\phi$ 。

80-I 型 GaAs 电光调相器的测试结果,未加调制信号时,拍频(十几兆赫)的幅度为 $N_1 = 7$ 格,加上 5 兆赫调制信号(其电压为 1.8 千伏——调制晶体两端之电压),此时幅度下降至 $N_2 = 6.6 - 6.7$ 格(视差),故

$$J_0(m) = \frac{N_2}{N_1} = \frac{6.6 - 6.7}{7} = 0.943 - 0.957$$

查贝塞尔函数表,可知 $m = (0.42 - 0.48)$ 弧度。若取其平均值,则 $m = m_\phi = 0.45$ 弧度。

理论调相指数 $m_\phi = 0.25 U_{(\text{千伏})} = 0.25 \times 1.8 = 0.45$ 弧度。

由上可见,理论计算值与实验结果是相吻合的。

寄生调幅的测量,其测试方框图同图 5,只是宽带放大器的输出不接到频谱仪,而直接接示波器。如果调相器工作正常,示波器上的外差波形的线条将变粗,且因寄生调幅会使其振幅改变。适当选择示波器的扫描速度,便可清晰地看到(寄生)调幅波的波形。设其最大幅度与最小幅度分别为 H_{\max} 与 H_{\min} ,则寄生调幅度 M_ϕ 为

$$M_\phi = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{H_{\max} + H_{\min}} \times 100\%$$

经实测,80-I 型电光调相器的寄生调幅度小于 4%。

性能的改进与提高

为了增大调相指数 m_ϕ ,可以增加调制信号源的输出功率 P ,即增大晶体两端的电压。但是,这会使得调制信号源结构庞大,体积、重量增大,对晶体产生不良影响,如发热、击穿等危险。在 80-II 改进型中采用将晶体长度增至一倍(即 $l = 100$ 毫米),而保持厚度 d 不变,即 l/d 增加一倍的方法来使调相指数 m_ϕ 增至 1 弧度。

若采用碲化镉作调制晶体,由于其 $n_0^2 \gamma_{41} = 10 \times 10^{-6}$ 厘米/千伏,而砷化镓(GaAs)的 $n_0^2 \gamma_{41} \cong 3.7 \times 10^{-6}$ 厘米/千伏,故二者相差约 2.7 倍。换言之,若在相同的 l/d 和相同的调制电压 U 作用下,用碲化镉晶体时的调相指数要大 2.7 倍左右。

为了不使电光晶体发热或击穿,希望降低调制信号源的输出功率,这可采用所谓多路调制器——让光束反射多次通过单块晶体。图 6 所示是七路调相器。

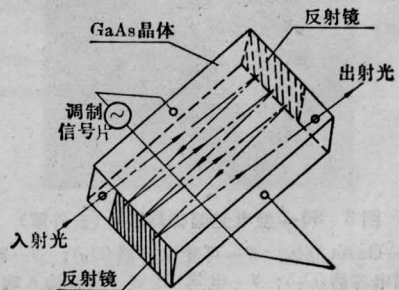


图 6 七路调相器

如果忽略光波通过晶体的渡越时间, 则 N 路单块晶体调制器的调制指数

$$m(1, N) = N \cdot m(1, 1) \quad (8)$$

式中 $m(1, N)$ 是单块晶体 N 路调制器的调制指数; $m(1, 1)$ 是单块晶体光束通过一次时的调制指数。

参 考 文 献

[1] 顾耀祺;《第十研究院学报》, 1981年, No. 4.

(中原电子技术研究所 顾耀祺

1981年3月13日收稿)

一种红外激光器用的光栅

Abstract: This paper introduces an infrared grating on metallic substrate and the testing methods. This kind of grating has been used in lasers.

选频激光器是激光技术中很重要的一类。小功率激光器选频的色散元件, 一般采用玻璃基底的刻划或复制衍射光栅。但是, 在红外大功率激光器(如 CO_2 激光器)情况下, 由于光功率密度较大, 采用玻璃基底光栅选频, 则会发生表面局部剧烈的变形, 膜层烧融, 甚至产生基底炸裂等情况。最近上海光学仪器研究所研制成功了不锈钢基底的红外刻划光栅, 适合大功率激光器选频用。目前已有一批光栅在一些实验室使用, 并获得了良好的效果。例如中国科学院物理所, 在 CO_2 激光器使用这种光栅, 输出功率大于 20 瓦, 性能稳定, 未发现光栅面畸变、反射率下降和表面烧伤等现象; 上海光机所在 TEACO_2 激光器选支, 应用一块每毫米刻线数 100 条, 刻划面积 60×50 毫米² 金属光栅, 获得 8 焦耳/脉冲, 已工作 400 次未见损坏。

对于金属基底刻划红外光栅(以下简称金属光栅)的性能测试除一般光栅检测项目外, 根据使用要求, 还应测试以下项目: 1. 在偏振光下的效应及其反射率同波段的关系; 2. 耐功率水平; 3. 波面像差。

1. 光栅效率测试

激光光栅一般均在偏振光, 特别是常用在光的电矢量垂直于光栅刻槽的情况下。因此, 最好的测试办法, 用一台选频激光器来测试较为理想, 测试方法见图 1。

调谐激光器输出的激光偏振方向在图面上, 经 ZnSe 分光板分成两束, 一束经反射到接收器 1 作输入功率监视用; 另一束透过 ZnSe 到达被测光栅上。衍射光束由接收器 2 接收, 夹角 θ 要尽可能小, 如 5° 以内, 则集光效率可表示为:

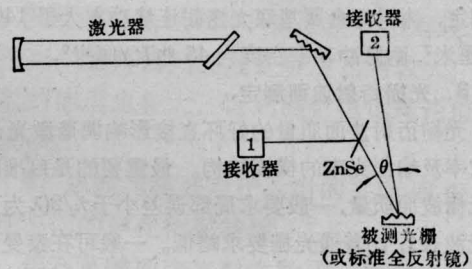


图 1 光栅集光效率测试图

$$\eta = \frac{I_g}{I_m} = \frac{I_g}{I_k C}$$

式中 I_g 为经被测光栅后的光强; I_m 为经标准反射镜面后的光强; I_k 为经 ZnSe 反射后的光强; $C = I_m/I_k$ 为常数。

对型号 WS-801009 光栅(槽密度 100 线/毫米, 闪耀波长 10.6 微米, 基底尺寸 $\phi 40$, 刻划面积 $25 \times$

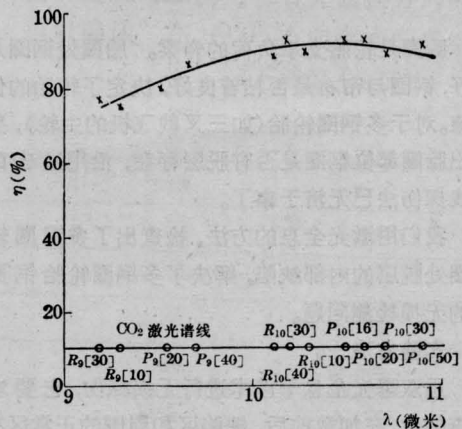


图 2 红外激光光栅集光效率 (120 线/毫米不锈钢基底铝膜)