

串联式纵向 DKDP 电光调制器

李公瑾 李学正

(北京光学仪器厂)

Longitudinal DKDP electro-optic modulators connected in series

Li Gongjin Li Xuezheng

(Beijing Optical Instrument Works)

A description of the design, processing and compact and perfect configuration of longitudinal DKDP electro-optic modulators connected in series is given in detail. The technical performances of the modulators are particularly applicable for laser rangefinders.

一、前 言

为把激光应用于测距、通讯、显示、精密计量等各个领域，都需要利用光调制器把激光调制成有用的光信号。

根据我国精密测距及地震预报等项工作的急需，我厂与有关单位共同研制的 DC-30JG 型气体激光测距仪就是一种以氩-氟气体激光器为光源的相位式高精度长测程的测距仪器。该类测距仪对它使用的光调制器有较高的技术要求。

我们采用串联式纵向 DKDP 电光调制器。这种调制器的特点是光线传播方向平行于光轴，原理上不存在自然双折射，因而输出的光信号不随温度漂移，信号的相位稳定性好，这对测距仪很有利。但是，由于这种调制器加工困难，结构复杂，以前还未能象横向电光调制器那样得到广泛的重视。我们经过多次的反复，摸索了一些制作方法，现已能较简单的成批制作这种 K-III 型电光调制器了。

二、K-III 型电光调制器的设计

K-III 型 DKDP 电光调制器系采用圆筒状环形电极。它是在我们 1973 年采用端面环形电极试制的 K-II 型调制器的基础上改进而来的。

形式 为适应 DC-30JG 型气体激光测距仪所提出的高频率 (30 兆赫)、低调制电压 (交流有效值约 150 伏) 的要求，并根据 Z 切割纵向 DKDP 半波电压为 3800 伏左右的特点，决定采用 4 到 6 块晶体纵向串联进行电光调制——即在光学上的串联，电学上的并联。这即能将调制器的半波电压降低为单块 DKDP 晶体的 $1/4$ 或 $1/6$ ，又能兼顾到不使整个调制器件因串联块数太多而造成的透过率太低或电容太大。

为简化电极结构，减小分布电容，应将相邻两块晶体的同一极性集中在一起，在这种情况下为使多块晶体的电光效应逐块迭加，则必须使 DKDP 晶体的 X 、 Y 轴逐块旋转

收稿日期：1978 年 11 月 13 日。

90度见,图1所示。

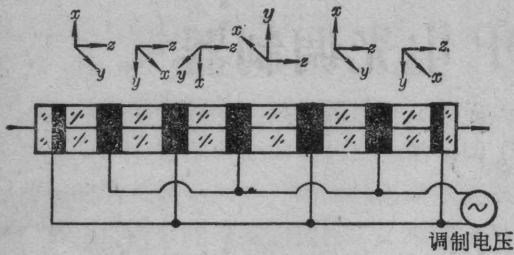


图1 六块 DKDP 晶体的纵向串联

尺寸 (1) 通光孔径: 由于 K-III 型电光调制器采用圆筒状环形电极, 所以调制器截面积的大小就是有效通光孔径的大小。测距仪的光源为 He-Ne 激光器, 激光束经光学扩散系统射到调制器时, 直径为 1.8~2 毫米, 发散角 5' 左右, 我们将通光孔径取 $\phi 2.5$ 毫米, 这样可以保证激光束全部通过调制器而不被阻拦, 同时又避免因孔径尺寸取得太大而使调制器的电场均匀性降低, 半波电压增高。

(2) 沿光轴方向尺寸 l 的选定: 纵向电光效应使沿 DKDP 原光轴方向传播的光波也分为两个光波, 两光波之间的相位差为:

$$\Gamma = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 r_{63} E_z l = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 r_{63} V$$

式中 λ 为光波波长, n_0 为 DKDP 中寻常光的折射率, r_{63} 为电光系数, E_z 为纵向电场强度, l 为 DKDP 沿光轴方向的晶体长度, V 为加在晶体两端的纵向电压。

从上式中可以看出, 对于纵向电光调制器, 相位差的大小正比于加在晶体两端的电压。当电压确定时, 相位延迟与晶体沿 Z 轴方向的长度 l 无关, 而增加 l 却能降低调制器电容, 提高晶体中电场的均匀性。从这个角度看, 增大 l 是有好处的。但是, 由于晶体加工和装调的精度限制, DKDP 的光轴不可能完全平行于光线前进的方向, 况且激光束也有一定的发散角, 因而当激光射入 DKDP 晶体时, 这样一束没有完全沿光轴方向前进的光, 必然要产生自然双折射。当晶体的长

度增加时, 自然双折射也就相应增大。这种双折射不但降低了调制器的消光比, 更严重的是它对温度非常敏感, 因而增加了调制器的相位不稳定性, 这对相位式测距仪来说是非常不利的。根据我们的体会, 每块晶体的长度 l 选定在 4~6 毫米之间较为合适。

圆筒状环形电极 在纵向电光调制器中, 电场方向需要平行于光前进的方向, 为此一般采用端面环形电极。过去我们试制的 K-II 型电光调制器就是在晶体的 (001) 端面镀上内径为 $\phi 2.5$ 毫米、外径为 $\phi 5$ 毫米的环形电极。采用这种电极的缺点是电容大、材料浪费。

在有关资料及兄弟单位制做“单块圆筒状环形电极 DKDP 电光开关”的启发下, 我们在 K-III 型电光调制器中也采用了圆筒状环形电极。经过性能测试和测距仪的实际应用, 证明此种方法在提高电场均匀性及降低调制器电容方面都有明显的优越性, 此外它大幅度地减少了 DKDP 的用料, 降低了成本。

等效电容 K-III 型电光调制器每块晶体的外形尺寸为:

沿 Z 轴长度 $l = 5.5$ 毫米

通光孔半径 $R = 1.25$ 毫米

电极宽度 $W = 1.7$ 毫米

根据 *Appl. Opt.* 1973 年 No. 7 刊登的《圆柱体环状电极 DKDP 电光调制器》一文, 六块 DKDP 串联的调制器电容为:

$$C = \frac{6\pi R^2 \epsilon_z \epsilon_0}{l - 2W}$$

式中: $\epsilon_0 = 0.886 \times 10^{-12}$ 法拉/厘米, $\epsilon_z = 50$ (DKDP 沿 Z 方向的介电常数)。

将上述数值代入上式, 可知 C 约等于 6 微微法, 若加上调制器的引线 and 分布电容, K-III 型电光调制器总电容约为 10 微微法左右。

调制电压 K-III 型电光调制器在用 $\lambda/4$ 片确定工作点的情况下, 为得到最高而

不失真的正弦形光强信号，应取正弦形电信号的交流有效值为：

$$V_{\text{有效值}} = \frac{0.76}{2\sqrt{2}} V_{\pi}$$

式中用 0.76 乘 V_{π} 是为把调制信号限制在线性区域内，再除以 $2\sqrt{2}$ 便得出交流有效值。取此调制电压值可使光信号中高次谐波分量小于 7%。若需进一步减小高次谐波分量，可将调制电压取得更小些。我们测出 K-III 型电光调制器的 V_{π} 值约为 620 伏，故 $V_{\text{有效值}}$ 约为 170 伏左右。

损耗功率 当把高频信号加到 DKDP 上进行电光调制时，晶体本身将一部分电能转变成热能，这部分损耗功率为：

$$P = 2\pi f C V^2 \text{tg} \delta \quad (\text{瓦})$$

式中， $f = 30 \times 10^6$ 赫——测距仪中调制信号的频率；

$C = 6 \times 10^{-12}$ 法拉——调制器电容；

$V = 170$ 伏——调制深度为 100% 时的调制电压；

$\text{tg} \delta = 1.0 \times 10^{-1}$ ——DKDP 的损耗角正切。

将上述各值代入式中可知 P 约为 3 瓦。当调制电压取 120 伏左右时（即调制深度为 70% 时）则 P 约等于 1.6 瓦。

这种功率损耗将使晶体本身温度升高，以至于使调制器电光效应下降，调制相位漂移，因此尽可能地减小调制器的功率损耗是很重要的。



图 2 加工后的 DKDP 晶体

三、调制器的装调与性能测试

DKDP 的固定装置 为了保证调制器的性能良好，在装调时对晶体的固定方法要求极高。固定方法不好就会使晶体产生应力

双折射，致使调制器消光比降低，调制信号稳定性变差。此外，固定装置的冷缩热胀也会使晶体产生位移和应力，为此我们采用高频陶瓷做基板和骨架，用硅橡胶做粘固剂，用半圆形保持板做电极引线支架及骨架的固定装置。其结构如图 3。

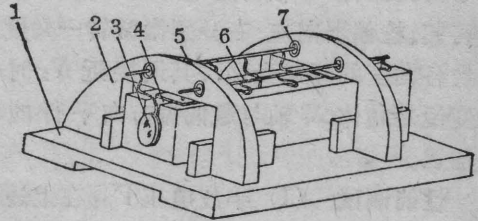


图 3 DKDP 的固定装置

1—陶瓷基板 2—半圆形保持板 3—DKDP 晶体 4—硅橡胶 5—平端紧定螺钉 6—陶瓷骨架 7—电极柱

图 3 中陶瓷基板及骨架是用光学冷加工方法切割研磨制成的。骨架是中心有 $\phi 3$ 毫米通孔的陶瓷条。将带有软导线的 $\phi 2.2$ 毫米 DKDP 圆柱晶体仔细放入骨架中央，并使标记好的晶体 X 轴平行于底边，然后四周用硅橡胶包围粘固。

高频陶瓷的绝缘性能很好，介质损耗小，温度引起的形变也小，这对减小调制器电容及功率损耗，提高调制器的稳定性都是有利的。

用硅橡胶做晶体和骨架之间的粘固剂，不但可固定晶体而不产生应力，同时也能较好地消除晶体的压电共振现象。

装调 由于已将六块 DKDP 胶合在一起，所以整个调制器的装调就十分简单。

(1) 将带有 DKDP 晶体的陶瓷骨架装在基板中央并用半圆形保持板加以固定，然后放在万能光具座调整架上调整。

(2) 使光具座上两偏振器正交，调整调整架使激光束通过调制器中心并使光束与光轴平行。

(3) 在电极柱上逐渐加一直流电压，用光电接收器及检流计观察调制光强的变化，

设当检流计摆动格数最大时调制光强为 N_1 (六块串联的调制器 V_{π} 约为 600 伏左右, 其检流计格数约为最大), 然后撤掉电压使起、检偏器平行, 测得最大输出光强为 N_2 , 则 N_1 应等于 N_2 。但由于晶体在装入骨架时, 其 X 轴与基板不甚平行, 因而 N_1 可能要小于 N_2 。为了找到晶体 X 轴与起偏方向的精确位置, 应将起、检偏器向左、右分别微微转一角度并测量各角度的调制光强, 其最接近 N_2 时的角度便是晶体 X 轴与起偏振方向平行的精确位置。

性能测试 (1) 半波电压 V_{π} : 在上述调整中, 当晶体 X 轴与起、检偏器位置正确时, 所加电压能使 N_1 等于或接近 N_2 时即为此调制器的半波电压。

K-III 型电光调制器六块串联晶体的 V_{π} 约为 620 伏(此电压随原材料的 V_{π} 及外界温度的变化会略有变化)。

(2) 调制电压: 若在 DKDP 调制器上加一 170 伏左右的低频信号, 并将光电接收器接到示波器上, 则在萤光屏上可看到一个完好的二倍频正弦图形。加入 $\lambda/4$ 片后, 在萤光屏上可看到一放大的基频正弦图形。再增加调制电压则波形失真, 这说明调制器最大无失真调制信号电压有效值为 170 伏左右, 与设计相符。

(3) 消光比: 在上述测试中, 若分别测出起、检偏器垂直和平行时检流计读数, 则二者之比为该调制器的静态消光比。

K-III 型电光调制器消光比大于 100:1。

封装 (1) 结构(见图 4)。

(2) 封装: 为进一步提高调制器的透过率、防止 DKDP 晶体潮解并尽可能减小外界温度对晶体的影响, 我们在密封的调制器壳内灌入折射率与晶体相近、性能比较稳定的苯甲基硅油, 为防止硅油受热膨胀对晶体产生应力, 我们在调制器尾部装一活塞式滑动窗口来调节壳内压力。

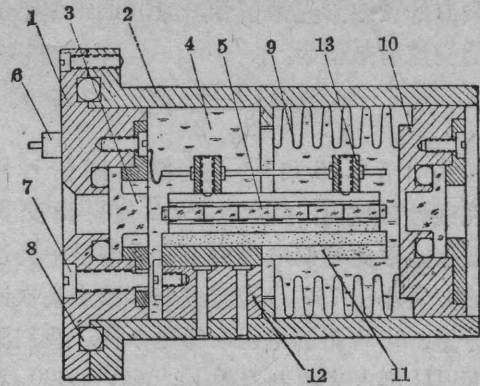


图 4 K-III 型 DKDP 电光调制器结构图

1—前盖 2—外壳 3—凸形玻璃帘 4—硅油 5—DKDP 晶体 6—外接电极柱 7—排气栓 8—密封橡皮圈 9—弹性波纹管 10—滑动后盖 11—陶瓷基板 12—燕尾基座 13—半圆形保持板

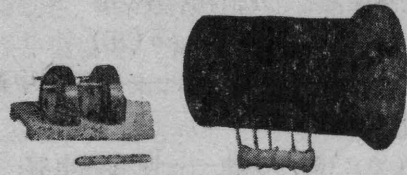


图 5 K-III 型电光调制器各部件照片

性能简介

晶 体 尺 寸	串联块数	6 块
	通光孔径	ϕ_1 2.5 毫米
	每块长度	l_1 5.5 毫米
外 形 尺 寸	电极宽度	W 1.7 毫米
	外壳长度	l_2 58 毫米
	前盖外径	ϕ_2 40 毫米
电 学 性 能	壳体外径	ϕ_3 36 毫米
	电 容	C 约 10 微微法
	半波电压	V_{π} 约 650 伏
	$M=100\%$ 时调制电压	约 170 伏
光 学 性 能	功率损耗(30 兆赫时)	$M=100\%$ 时 3~4 瓦
	透 过 率	大于 85%
	消 光 比	大于 100:1
	相位不均匀性	小于 2°
	相位随时间漂移	小于 3.8°

注: M 为调制器的调制深度。