

电光偏折器

十八室光储存在研究组

电光偏折器是控制光束位置的器件。它主要有偏折元件和电光开关两部分组成。偏折元件是有双折射效应的晶片(如冰洲石),它使一束输入光分成两束光输出;电光开关是用有电光效应的晶体(如KDP, KD*P, LiNbO₃等)来控制输出光束的偏振状态,有n个这样的组成单元就能获得2ⁿ个不同位置。它可以用在光存储器中。

一、基本原理

当一束非偏振的自然光通过双折射晶体时就分裂为偏振轴方向互相垂直的两束平面偏振光—正常光(o光)和非常光(e光),后直入射时,正常光按原方向进行,而非常光则被偏折一个α角,两者通过晶体又互相平行,拉开的距离正比于晶体的通光厚度。图1为自然光通过冰洲石时的情况,设α为二束光的分裂角,r为晶轴取向角,b为两束光分开的距离,则最大分裂角与晶轴取向角有下列关系:

$$\alpha_{\text{最大}} = -\text{arc tg} \frac{n_o^2 - n_e^2}{2n_o n_e} \quad \dots\dots(1)$$

$$\gamma_{\text{最大}} = \text{arc sin} \frac{n_e}{\sqrt{n_e^2 + n_o^2}}$$

其中n_o, n_e分别为o光e光的折射率。两束光分开距离b与分裂角有下列关系:

$$b = l \text{tg} \alpha \quad \dots\dots(2)$$

其中l为晶体厚度。可见分开距离是与晶体的通光厚度成正比。

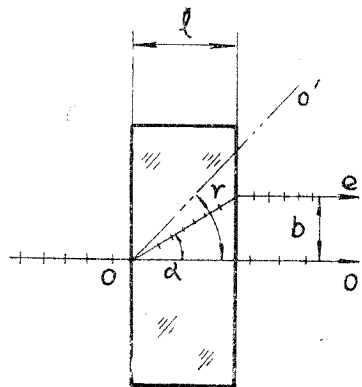


图1 自然光通过冰洲石,分成两束平面偏振光(o光, e光)

电光晶体在电场的作用下,其线折射率发生改变,使入射光束分为两束,每部分按不同速度通行,在输出部分形成位相差。折射率在电场作用下的相互依赖关系常用折射率椭球方程式来表示:

$$\frac{x^2}{n_1^2} + \frac{y^2}{n_2^2} + \frac{z^2}{n_3^2} + 2\sum r_{ij}(E_x x y + E_y y z + E_z z x) = 1 \quad \dots\dots(3)$$

其中n₁, n₂, n₃为晶体主轴在x, y, z方向的折射率, E_x, E_y, E_z为主轴方向的电场强度。

对于单轴晶体(如KD*P),折射率变化与电场成正比,即

$$\frac{1}{\Delta n_i^2} = r_{i1} E_x + r_{i2} E_y + r_{i3} E_z = \sum_{j=1}^3 r_{ij} E_j \quad \dots\dots(4)$$

其中r_{ij}为电光晶体的线性光学系数。

在纵向(Z切割)施加电场时, E_x = E_y = 0, E_z = E, (3)式可改写为:

$$\frac{x^2}{n_o^2} + \frac{y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_e^2} + 2r_{63} E \times y = 1 \quad \dots\dots(5)$$

经简单的数学变换后,可求得在新坐标轴x', y', z'方向上的主折射率为:

$$\begin{aligned} n_{z'} &= n_o + \frac{n_o^3}{2} r_{63} E \\ n_{y'} &= n_o - \frac{n_o^3}{2} r_{63} E \quad \dots\dots(6) \\ n_{x'} &= n_e \end{aligned}$$

图2表示KD*P晶体在纵向电场下折射率变化的示意图,图中说明在x', y'轴上

光的传播速度不同,通过厚度l的晶体产生位相差Γ_z:

$$\begin{aligned} \Gamma_z &= \frac{2\pi}{\lambda} \left[\left(n_o + \frac{n_o^3}{2} r_{63} E \right) - \left(n_o - \frac{n_o^3}{2} r_{63} E \right) \right] l \\ &= \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 r_{63} E l \quad \dots\dots(7) \\ &= \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 r_{63} V \end{aligned}$$

其中V为两电极之间的电位差V = El,当位相差Γ_z = π时,电压V_{λ/2}称为半波电压:

$$V_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{2n_o^3 r_{63}} \quad \dots\dots(8)$$

从此式可看出:在纵向电场下,半波电压与入射光波长成正比,与晶体折射率和电光系数成反比,与晶体厚度无关。

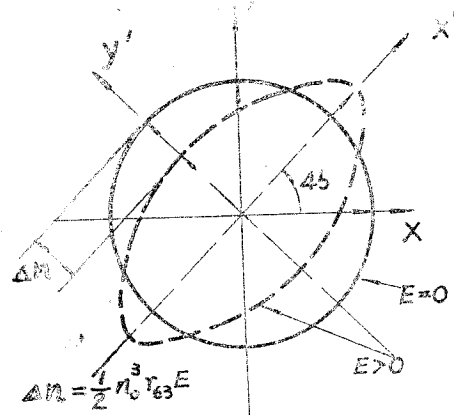


图2 晶体纵向效应

当电光晶体加上半波电压时,输出光的位相差Γ_z = π,使输入的线偏振光偏振面旋转90°,电光开关就是利用它来控制输出光的偏振状态。当不加电压时,输入光的偏振状态与输出光的相同;当施加半波电压后,输出光的偏振状态即与原始的输入光的偏振状态相垂直。

因目前所采用的电光晶体的半波电压都较高, KDP约为8KV,即使采用昂贵的KD*P也仍为4KV左右,这对开关的制作和需要高速运行都带来许多困难。如今在电光

晶体和双折射晶体之间引进一个λ/4波片,这种波片在光路上可以产生π/2的位相差,这样在电光晶体上只需施加V = V_{λ/4},即只需产生π/2的位相差的电压,即比原先施加V = V_{λ/2}的电压降低了一半。这里,我们可用下面方程式进行分析。输出光束的强度按下式给出:

$$I = I_o \sin^2 \frac{\Gamma_z}{2} \quad \dots\dots(9)$$

此处I_o是入射光强度,位相差(Γ_z)在线性状态时正比于电压,故可作出透过率(I/I_o)对电压(V)的曲线(见图3),该曲线的方程式为:

$$\frac{I}{I_o} = \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} \frac{V}{V_o} \right) \quad \dots\dots(10)$$

此处V_o是要求最大透过率的(I/I_o = 100%)电压,即半波电压,当光路上附加λ/4波片后,即使工作点从曲线上的零电压附近移到λ/4波电压附近,透射光的强度可用下式表示:

$$\begin{aligned} I/I_o &= \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} \frac{V}{V_o} \right) \\ &= \frac{1}{2} \left[1 + \sin \left(\frac{\pi}{2} \frac{V}{V_o} \right) \right] \quad \dots\dots(11) \end{aligned}$$

当V = V_o时,式(10)和(11)的结果是相同的。为此,使用附加λ/4波片和电光晶体上施加V = V_{λ/4}的直流偏压的效果是相同的,现在电光晶体只需施加原先的一半电压,这对各方面的工作都极为有利。

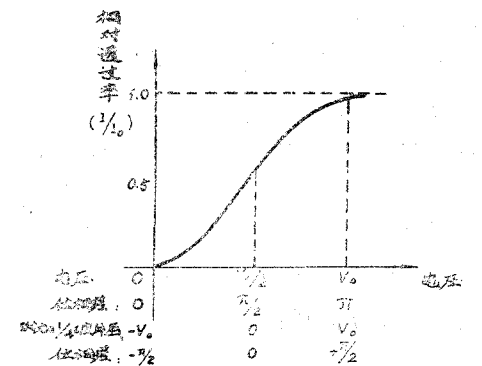


图3 线性效应电光晶体透过率对电压的关系

今用三级偏折器为例(图4)。双折射晶体(冰洲石)的厚度为 $l, 2l, 4l$, 以保证输出点的位置是成倍而等间距拉开。当第一级 KD^*P 开关打开, 第二级合上, 第三级打开, 以(010)来表示, 如入射光为 e 光, 由于第一级开关是开启状态, 则 e 光没有变化, 第二级开关是闭合状态, 偏振面旋转 90° , e 光改变成为 o 光, 第三级开关是开启状态, 偏振面未改变, 因此最后输光仍为

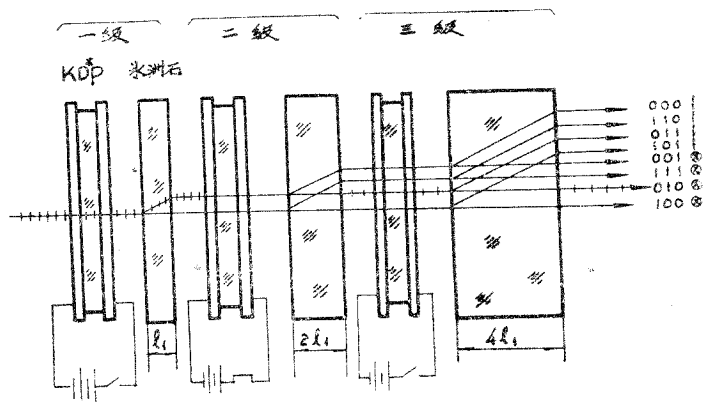


图4 三级偏折器

二、器件系统的设计:

对偏折器的要求是光点的数目多, 光损失小, 速度快和可靠耐用。为之采用会聚光形式系统, 它可使入射光聚焦成为最小光点, 在给定的通光面积下, 可获得最多的偏折位置, 这样就相对地提高了容纳量, 增强了光亮度。但会聚角使输出面上带来了多余的背景光, 会聚角愈大, 背景光也愈大。今选用会聚角为 3° , 引起单位入射光的背景光约小于2%。

在会聚光系统中, 由光束的衍射极限决定光点的最小直径:

$$\delta = 2 \times \frac{1.22\lambda}{n} \frac{f}{d}$$

由于 $\text{tg } B = \frac{d}{2f}$

o 光。三个开关可组合成八种不同状态, 即000, 110, 011, 101, 001, 111, 010, 100, 可得到8个等间距的光束点。同理, 如冰洲石的厚度为 $l, 2l, \dots, 2^{n-1}l$, 共 n 级, 有 n 级电光开关, 则可得到 2^n 个光束点, 在二个方向 (x, y) 组合, 则可得 $2^n \times 2^n$ 矩形方阵的光束点。下面介绍的是 x, y 五级偏折器的设计和试验情况。

$$\therefore \delta = \frac{1.22\lambda}{n \text{tg } B} \quad \dots\dots(12)$$

其中 δ —衍射极限点的直径,
 λ —光波波长, $\lambda = 6328 \text{ \AA}$
 n —空气折射率($n = 1$)
 f —焦距 $f = 39.4 \text{ mm}$ —光束直径
 d — $d = 2 \text{ mm}$ B —会聚角半角

代入此式计算得 $\delta \approx 30 \mu$

考虑到最薄的第一级冰洲石加工的可能性及为得到最大的容纳量, 取两输出点中心距为 $d = 45 \mu$ 。

对五级偏折器而言, 光点为 32×32 点, 会聚于 1.5×1.5 的面积上, 再经放大33倍, 得到 $45 \times 45 (\text{mm})^2$ 大小的矩阵。

光路系统采用望远镜对称布置的形式, 如下图5。

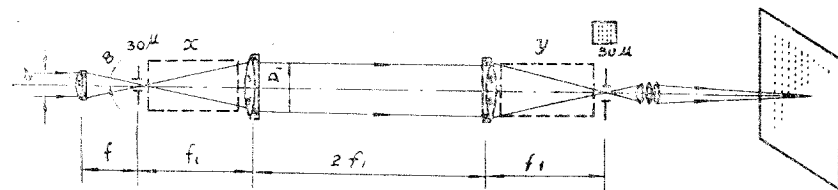


图5 光路系统简图

在入射光焦面上光束点的大小为 30μ , 与成像面一一对应, 点的大小仍为 30μ , 将 x, y 级偏折器置于对称光路中, 使光束均以相同的角度进入晶体, 保证了像点质量的均匀性。

最后考虑点的波阵面变形应 $< \frac{\lambda}{8}$ 。因此, 在光路中各种光学元件包括透镜, 窗口, 及各种晶体对其材料及表面质量都要相应地提出要求。

三、元件的设计与要求:

双折射元件采用天然冰洲石, 电光开关采用 KD^*P 晶体, $\frac{1}{4}$ 波片采用天然水晶研制。今将各元件的主要要求分别说明如下:

1. 冰洲石

材料要求无色透明, 光学均匀性好, 内部无管道或严重的节瘤。实际上要找到一块完美的冰洲石是极为困难的。

冰洲石的晶轴取向主要考虑 o 光及 e 光在传播时像散要最小, 一般说来 e 光的像散比较严重。我们采用了各向同性角, $r = 51^\circ 18'$, 这时的分裂角为: $\alpha = 5^\circ 54'$, 晶体的主截面与棱边成 45° , 如下图6。

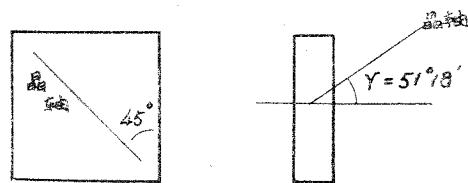


图6 冰洲石简图

由于在冰洲石中有 n_o, n_e 之分, o 光和 e 光的光程便不相同。为保证两种光成像点在同一输出面上, 必须进行光学补偿。最简单的方法可采用两块等厚的材料, 使一块主截面与另一块主截面成 90° 胶合, 即可达到上述目的。

晶体的尺寸可根据通光面的大小来确定, 通光面的口径 D 按下式决定: (参看图5)

$$D_1 = 2f_1 \text{tg } B + 2s = 2 \times 300 \times 0.026 + 2.8 = 18.4 \text{ mm} \quad \dots\dots(13)$$

其中 f_1 —偏折器长度(300mm), B —会聚角半角(1.5°); s — N 级偏折器光点最大分开距离, $s = 2^{N-1}b$ 。今选用冰洲石的尺寸为 $22 \times 22 \times l$ 。

冰洲石厚度 l 取决于最低级的厚度 l_1 , l 。根据光点分辨率及晶体分裂角来确定, 冰洲石经 90° 补偿, 其厚度应增加 $\sqrt{2}$ 倍, 籍以保持与原来的纵向分开距离相同。

$$b = \sqrt{2} l_1 \text{tg } \alpha$$

其中 $b = 45 \mu$, $\alpha = 5^\circ 54'$

则 $l_1 = 0.31 \text{ mm}$ 。

各级冰洲石的厚度按 $l_n = 2^n l_1$ 成倍的增加。点阵间距的均匀程度主要取决于厚度的准确度, 但在实际加工中难以保证, 为之要给出允许的公差范围。对(2)式进行偏微分:

$$\frac{\Delta b}{b} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{1 + \text{tg}^2 \alpha}{\text{tg } \alpha} \Delta \alpha \quad \dots\dots(14)$$

今暂时不考虑 $\Delta \alpha$, 于是得

$$\frac{\Delta b}{b} = \frac{\Delta l}{l} \quad \dots\dots(15)$$

最低限度的公差是在两个相邻光点边缘相切, 此时光点的中心距为 30μ , 这时光点上下, 左右偏移量为 $\Delta b = \pm 7.5\mu$.

$$\Delta l = \pm 0.0415mm$$

为保证二光点完全拉开, 允许中心距最低为 40μ , 此时 $\Delta b = \pm 2.5\mu$, 则 $\Delta l = \pm 0.0172mm$ 加工时可以控制在 $\pm 0.015mm$ 之内。在实际使用中要求只可给出一个方向的公差, 或者是正公差, 或者是负公差; 如给出正负公差, 不但会引起点阵不均匀, 还要造成点子相互重叠, 另外要使冰洲石各级厚度的公差都应相同, 绝不能因晶体厚而放松公差。

晶轴取向引起的光点位置变化可按下列式考虑:

$$\frac{\Delta b}{b} = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}{\operatorname{tg}^2 \alpha} \cdot \Delta \alpha \quad \dots (15)$$

当 $\Delta b = \pm 2.5\mu, b = 45\mu, \alpha = 5^\circ 54'$ 时
 $\Delta \alpha = 0.00566 \approx 19.4'$

晶轴取向角误差 Δr 根据 α, r 的关系来确定

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(n_o^2 - n_e^2) \sin r \cos r}{n_o^2 + (n_o^2 - n_e^2) \sin^2 r}$$

进行微分, 并从 $b = l \operatorname{tg} \alpha$ 关系得:

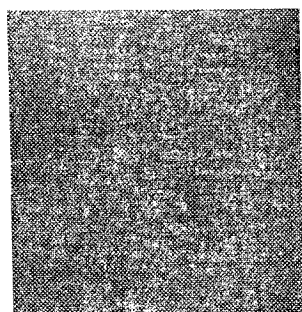
$$\frac{\Delta b}{b} = \left[\frac{-\sin^2 r + \cos^2 r}{\sin r \cos r} - \frac{2(n_o^2 - n_e^2) \sin r \cos r}{n_o^2 + (n_o^2 - n_e^2) \sin^2 r} \right] \Delta r$$

当 $\Delta b = \pm 2.5\mu, b = 45\mu, r = 51^\circ 18', n_o = 1.658, n_e = 1.485$
 得: $\Delta r = 0.119 \approx 6.8^\circ$

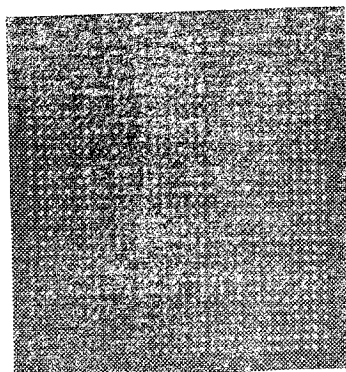
从以上说明, 当晶轴取向角偏差为 6.8° 时, $\Delta \alpha$ 只有偏差 $19.4'$ 这对厚度的影响是极小的, 而晶轴取向角的偏差用 α 光定向仪完全可以控制在 $2-5'$ 之内, 因此可忽略 $\Delta \alpha$ 的影响。

下表为两次加工公差及实际矩阵图像的比较:

级 别	1 9 7 4 年 加 工			1 9 7 5 年 加 工		
	设 计	实 际 加 工	Δl	设 计	实 际 加 工	Δl
1	0.31	0.31	0	0.31655	0.325	+0.0085
2	0.62	0.57	-0.05	0.6331	0.643	+0.0099
3	1.24	1.22	-0.02	1.2662	1.273	+0.0068
4	2.48	2.48	0	2.5325	2.550	+0.019
5	4.96	4.92	-0.02	5.065	5.062	-0.003



(a)



(b)

图7 点阵图 (a)74年加工 (b)75年加工

2. 电光开关:

电光晶体材料在我国目前比较成熟的有 KDP (KH_2PO_4 磷酸二氢钾) 和 KD^*P (KD_2PO_4 磷酸二氘钾) KDP 产生半波滞后的电压较高, 约为 $8.5KV$, 而 KD^*P 约为 $3.4KV$. 我们希望半波电压尽可能低。因偏折器要求尺寸紧凑, 通光面积大, 光强尽可能大, 因此只能采用纵向电场, 但带来了因电极而引起的许多问题, 电极必需是光学透明的, 电阻要尽可能低。这里, 导电层的光学透明度很重要, 它主要决定了偏折器的光学效率。但 KD^*P 材料无气泡温度较低, 约为 $215^\circ C$, 故电极不能用高温溅射的方法, 而采用真空镀膜的方法在目前技术上又有困难, 现在我们采用光学透明导电玻璃, 把二氧化锡和四氯化锡直接蒸发在光学玻璃上, 其透明度大于 90% , 电阻为 $200\Omega cm$. 采用光学透明及电阻率较低的硅酮胶粘合 KD^*P 和玻璃。

电光开关实际上是一平板电容器, 胶和 KD^*P 晶体为电介质材料, 除了考虑它们的光学性能—透过率, 折射率及均匀性外, 还必需考虑它们的电学性能—电阻率 (ρ, Ω, cm), 介电常数 (ϵ), 介电损耗角 ($\operatorname{tg} \delta$), 电击穿强度 (KV/mm), 它们之间还要有一定的匹配关系。平板电容器也可看成是电阻和电容的组合, 其等效电路可见图 8 左, 电极结构见图 8 右:

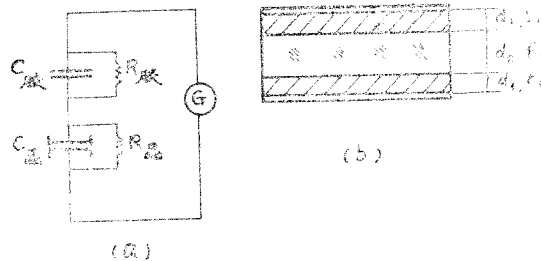


图8 电极模拟电路(a); 电极(b)

由高斯定理知, 介质的电场强度 (E)

$$E = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon}$$

其中 σ —电荷密度, 因此不同材料的电

场强度与介电常数成反比, 同时跨在电极二端的电位差是二种介质的电位差之和。

$$\text{即 } \frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$$

$$U = U_1 + U_2 = E_1 d_1 + E_2 d_2$$

将上式联合解得:

$$U_1 = \frac{U \epsilon_2}{\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1} d_1$$

$$U_2 = \frac{U \epsilon_1}{\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1} d_2$$

其中 $E_1, E_2; \epsilon_1, \epsilon_2; U_1, U_2; d_1, d_2$ 分别为胶和晶体的电场强度, 介电常数, 电位差和厚度。

KD^*P 的介电常数 $\epsilon_2 = 50$, 厚度 $d_2 = 2.5mm$ 而 $25\%-CN$ 胶的介电常数 $\epsilon_1 = 6$, 厚度 $d_1 = 2 \times 10^{-3}mm$ (二层) 代入上式得:

$$U_1 = 0.013KV, U_2 = 1.987KV.$$

于是胶上承受的单位电压为 $V_1 = 0.013/2 \times 10^{-3} = 6.5KV$ 它小于胶本身的击穿强度 ($< 12KV/mm$), 因此, 现在所使用的硅酮胶是安全的。从以上还可看出, 材料的介电常数大, 电场强度相对也要小, 放采用较大的介电常数的材料是有利的。

开关的闭合过程也是电容的充电和放电的过程, 它的快慢程度取决于它本身的时间常数 (τ), 而时间常数 $\tau = RC = \epsilon_0 \epsilon \rho$.

其中 R —电阻, C —电容, ϵ_0 —真空中的绝对介电常数, ϵ —相对介电常数, ρ —电阻率。

为了使电压很快的加到晶体上, 要求胶的时间常数 ($\tau_{胶}$) 小于晶体的时间常数 ($\tau_{晶}$)

$$\text{设 } \tau_{胶} = \frac{1}{100} \tau_{晶}$$

$$\text{则 } \rho_{胶} = \frac{\epsilon_{晶} \rho_{晶}}{\epsilon_{胶} \times 100} \sim 10^9$$

其中 KD^*P 的电阻率 $\rho = 10^{10} \Omega \cdot cm$.

即如要电压如此快速地施加到晶体上, 对胶的电阻率要求约为 $10^9 \Omega \cdot cm$.

当然在交变电场下还应考虑到材料的介

质损耗($\text{tg } \delta$), 此 δ 也是一个评定电容器性能好坏的重要数据, 希望介质损耗要小。

综合以上情况, 对胶本身提出了如下要求:

1. 光学透明, 对激光的光吸收要最少, 折射率要接近于晶体的折射率 $n \sim 1.5$,
2. 较低的电阻率 $\rho \sim 10^9 \Omega\text{-cm}$,
3. 介电常数 ϵ 要大, 即电容要大, 希

望 $\epsilon > 10$ 。

4. 耐击穿强度要大, 要 $> 12-15 \text{ KV/mm}$,

5. 介质损耗要小。
6. 有一定弹性, 避免晶体内受应力,
7. 化学中性, 无水解或吸潮,
8. 常温胶合。

现有胶合材料的性能, 如下表:

材 料 名 称	体电阻率 ρ ($\Omega\text{-cm}$)	介电常数 ϵ	介质损耗角 $\text{tg } \delta$	电击穿强度 KV/mm
1. 环氧树脂	10^{18}	3.89	2.1×10^{-3}	15
2. 甲基室温硅橡胶				
107(SD-33)	$> 10^{14}$	< 3.2	$< 8 \times 10^{-4}$	> 15
106(SDL-1-41)	$> 10^{14}$	< 3.3	$< 1 \times 10^{-3}$	> 17
硅氟胶(25%-CN)	1.49×10^{10}	6.27	5.8×10^{-3}	12

在偏折器盒中为了防止电击穿和匹配材料的折射率, 还使用一定折射率($n=1.5$)的硅油, 因它工作在较高的电场下, 对硅油性能和本身的清洁程度必需有一定的要求。据有关资料介绍, 在硅油中如含有0.03%重量的水份, 就会使油的击穿电压降到十分之一, 存在固体杂质、如棉花毛, 灰塵也会大大降低液体介质的电强度。因此我们要求有一清洁的环境, 要有清洁的油。因为这电光开关牵涉的因素较多, 很自然的成为偏折器质量的关键。

3. 1/4 波长片

1/4 波长片用天然的水晶做成, 它的表面和光轴平行, 当入射光进入晶体时, 分为 e 光和 o 光两部分, 要使晶片厚度恰好使 o 光和 e 光间产生一个 90° 的位相差, 当 KD^*P 加 $1/4$ 相位滞后的电压后, 一束平面偏振光变成圆偏振光, 再经过此波片后, 又合成一束平面偏振光, 它的偏振面恰好与入射光旋转 90° 。

它的厚度由下列公式计算:

$$\text{光程差 } \Delta = d(n_o - n_e) \dots\dots (16)$$

$$\text{位相差 } \delta = \frac{2\pi}{\lambda} d(n_o - n_e),$$

$$\text{当 } \delta = \frac{\pi}{2}(N+1)$$

$$\text{则晶片厚度 } d = \frac{\lambda(N+1)}{4(n_o - n_e)}$$

N —正整数。

即只要加工到与位相差有奇数倍的厚度时, 即可达到以上目的。今以 $\lambda = 4880 \text{ \AA}$ 为例, 由不同的 N , 计算得下列序列:

序列	厚度(mm)	序列	厚度(mm)	序列	厚度(mm)
d_1	1.196	d_6	1.065	d_{11}	0.933
d_2	1.170	d_7	1.038	d_{12}	0.907
d_3	1.144	d_8	1.012	d_{13}	0.881
d_4	1.117	d_9	0.986	d_{14}	0.854
d_5	1.091	d_{10}	0.959	d_{15}	0.828

为了能磨得以上精确的厚度, 它的加工和检验都是一项繁杂而精细的工作, 波片的厚度用普通的机械量具无法测量, 磨制时我们采用了如图9的方法进行测试: 当 A^+ 激光经过半透镜(s), 起偏器(p)成一平面偏振光, $1/4$ 波长片与入射偏振光方向成 45° , 经 $1/4$ 片后, 成为圆偏振光, 经全反射镜(R)反回原路, 再经 $1/4$ 片, 又为一平面偏振光, 而其偏振方向旋转 90° , 因而光被(p)

全部截住, 反射光斑在屏上为一消光点, 如波片厚度没有达到要求, 则反射光斑不会消光, 加工时用上述方法反复测试, 直至出现消光点为止。

根据前阶段工作的摸索, 发现如下情况, 将被加工的波片置于光路中, 左右旋转其位置, 如果在载盘的 0° 有消光点, 继续旋转在 $\pm 22.5^\circ$ 又出现一消光点, 我们称此为一个周期如图10(a)所示, 这样的波片说明已满足厚度要求, 如果屏上为一亮点, 说明厚度尚不满足要求, 此时必需正确的判断“过头”和“不足”两种情况, 以便确定如何继续加工。

所谓“过头”, 即其厚度已薄于波长片的厚度, 而与下一周期的厚度又相差很远, 在 $0-22.5^\circ$ 之间找不到消光点, 如图10(b)所示, 这样就要继续研磨到下一周期的厚度。

所谓“不足”, 即其厚度尚厚于波长片的要求, 这时在 $0-22.5^\circ$ 之间可以找到一消光点, 如图10(c)所示, 此消光点接近于 0° , 所以只要微量的研磨。

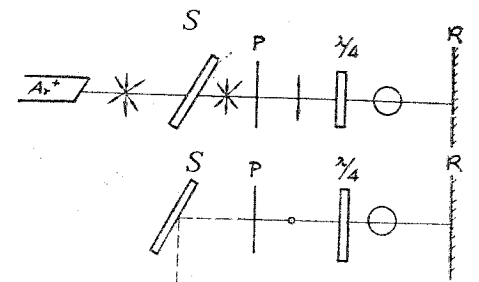


图9 1/4片测试装置简图

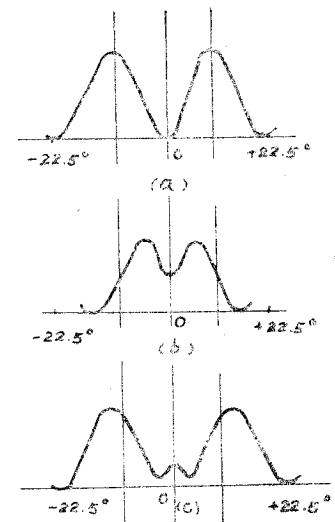


图10 光点亮度变化情况图

器的光束的偏振方向稳定不变, 它的主截面应尽可能与激光的偏振面重合。另外, 为使点阵成为正立正方形, 它的主截面应与水平成 45° 。

使用 $\phi 2\text{mm}$ 的光栏以限制光束的直径。仔细调正各透镜使处于正确方位。用显微镜检验焦面 I 和 II 上的光点 ($\phi 30\mu$) 的质量

四、偏折器的调正和测试结果

先把光路按设计要求调正至规定位置, 然后把冰洲石、 $\lambda/4$ 片、 KD^*P 晶体依次放入, 逐级调正。

尼科耳作为起偏器, 用来保证进入偏折

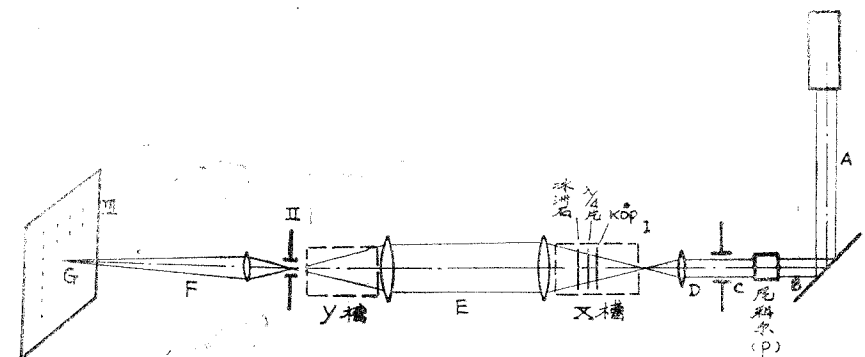


图11 光路系统简图

(如大小、圆度等)。达到了要求即可认为光路已调正好。下面介绍各晶体元件的调正。

1. 冰洲石的调正

将冰洲石放入上述光路中并旋转使冰洲石的一个主截面与通过光的偏振面重合。此时屏Ⅲ上仅出现一个亮点(或另一点处于最暗状态)。逐级放入,逐级调正。

2. $\frac{\lambda}{4}$ 片的调正

将它插入上述光路(先取去冰洲石)令其光轴与入射光偏振面成 45° ,输出为圆偏振光,调正原理为图7所示。然后再放入原已调好的冰洲石,便可得到二个等亮度的光点。

3. KD^*P 的调正

在前述光路中取去已调好的冰洲石和 $\frac{\lambda}{4}$ 片而插入 KD^*P 和一检偏器。调正 KD^*P 使它的法线平行于入射光,便可在屏上看到等旋线和等色线组成的花样(十字花),令此花样正居视场中央而与入射光斑重合为好,然后撤出检偏器,在 KD^*P 后面再放入已调好的冰洲石和 $\frac{\lambda}{4}$ 片。然后在 KD^*P 电极上施加半波电压而看点阵消光情况,绕法线方向旋转 KD^*P 使出现最佳消光比为止(施加电压也要有相应的调正)。

我们采用逐级调正的方法,调好一级后即从油槽取出,编好号码备用。为此,各机械部件要求保证复位精度。

今将测试结果介绍如下:

1. 单元测试

① 冰洲石的消光比 $r = \frac{I_1}{I_2}$

其中 I_1 为最亮点的光强, I_2 为暗点的光强,在十级中, r 的最佳值为4700:1而最坏值为520:1。

② $\frac{\lambda}{4}$ 片的消光比,最佳值为1000:1,

而最坏值为300:1。

③ KD^*P 的消光比,最佳值为370:1,而最坏值为110:1。

2. 透光率测试

经过偏折器后光损耗颇大,透过率仅为18.8%

3. 点阵光点均匀性的测试

在点阵中选定均布的12个点,测定其光强。发现各点强度不一,而最大起伏与平均光强之比为10%左右。

4. 噪音的测试

光线进入偏折器后,每一级单元都会产生无用的噪音光。各级所产生的噪音大小不同。五级偏折器有五级不同的噪音。第一级最亮第二级次之,第三级又次之等等。经测定,第一级的信噪比最坏,为20:1,第一级噪音光的偏振面正好与讯号光偏振面垂直。因此可用适当的方法滤去。

综合以上情况看出,偏折器的容纳量大,方阵规整,点阵间距较均匀,光亮度起伏小,这是它的特点,达到了预期的目的。经与全息部份联试结果是好的,基本上达到了目前存储器所提出的指标。当然,在联试中也暴露了许多问题,如点阵局部地区有较严重的象散,间距也不够均匀,总光能利用率低等等。另外这次联试也没有计及速度。这些都要有待今后改进。

参 考 资 材

1. James, T. Tippell; *Optical Electro-optical Information Processing* 1965书第23章 *Convergent Beam Digital Light Deflection*.
2. A. Φ. 华平特耳主编: *电介质物理*—高等教育出版社1957年。
3. Earl L. Steele; *Optical Lasers in Electronics* 1968 P. 57.

几种比较实用的光学传递函数测定装置

蒋 筑 英

根据光学传递函数(OTF)理论,提出了各种直接或间接测定OTF的装置原理。它们可以分为三大类:(1)扫描法、(2)自相关法、(3)互相关法。但现在获得实际应用的主要是扫描法装置。因此只对这类装置作介绍。

扫描法按所用检验目标不同,又可以分为 a) 光学付里叶分析法(用正弦板) b) 光电付里叶分析法(用矩形板) c) 电学付里叶分析法(用多狭缝或刀口)等。按照用途不同,有的设计得功能比较完全,适合研究实验室使用;有的功能简化,适合工厂产品检验;有的能自动进行测量,构成自动生产线的一部分。以下对其中比较值得参考的几种装置的性能,特点作概要介绍。

1. 伊灵·贝克(Ealing & Beck)公司的EROS系列OTF测定装置^{[1],[2]}。

这是在英国SIRA协会指导下发展起来的一系列装置,包括EROS 100型,200型,Ⅲ型和Ⅳ型。EROS 200型曾来我国展出,它和100型同属简化型,只能测MTF。精度 $\pm 5\%$,主要用于产品检验。EROS Ⅲ型也只能测定MTF,但精度为 $\pm 3\%$ 。加上一些附件以后可以成为EROS Ⅳ型装置。它主要用于研究实验室和要求严格的产品检验。EROS Ⅳ型可以测定PTF和MTF,精度分别为 $\pm 5^\circ$ 和 $\pm 1\%$,是SIRA协会的标准设备。

1) EROS系列装置的最大特点是采用积木式组合原则,因而具有很大的灵活性。它将整个仪器分成许多可以互相组合的组件,包括(1)目标发生器组件,(2)象分析器(狭缝)组件,(3)光源照明器组

件,(4)目视组件,(5)频率扩展器组件,(6)中继镜组件,(7)平行光管组件等光学组件和各种机械组合件:它们可以对装在其上的光学组件提供绕水平轴或垂直轴的转动,笛卡尔三座标方向的位移等等。这些组件既可以放在大防震台上工作,也可以放在导轨上按被测系统所需测量条件组合工作,甚至可以装在大型的被测系统上进行测量。

2) EROS系列装置的第二个特点是既可以给出某一频率范围的连续MTF和PTF曲线,也可以任意选定其间的一个频率测定MTF值,这对于实际使用是十分方便的。

3) EROS Ⅳ型采用双光路指零测量系统,既可以测定MTF也可以测定PTF,并且可以达到较高精度。这台装置的指标和性能如下:

- ① MTF测到 $\pm 1\%$; PTF测到 $\pm 5^\circ$,空间频率准确到 $\pm 1\%$;
- ② 光信号强度变化范围可以达到 $1-10^5$;
- ③ 空间频率范围可以0—100对线/毫米,0—200对线/毫米,0—400对线/毫米,并且可以任意选定频率;
- ④ 测量不受环境光的影响;
- ⑤ 可对白光和单色光进行测量;
- ⑥ 狭缝宽度的影响能自动修正;
- ⑦ 近距离和无限远成象均可以测定;
- ⑧ 被测系统焦距范围可以是1米到几毫米;
- ⑨ 视场角达 $\pm 40^\circ$,空间频率可以取任意方位;
- ⑩ 机械稳定性高,象面稳定性为 1μ ;