

晶体的电光调制实验

实验讲义

晶体的电光调制实验

一、引言

当给晶体或液体加上电场后，该晶体或液体的折射率发生变化，这种现象成为电光效应。电光效应在工程技术和科学研究中有许多重要应用，它有很短的响应时间（可以跟上频率为 10^{10}Hz 的电场变化），可以在高速摄影中作快门或在光速测量中作光束斩波器等。在激光出现以后，电光效应的研究和应用得到迅速的发展，电光器件被广泛应用在激光通讯、激光测距、激光显示和光学数据处理等方面。

二、实验目的

- 1、掌握晶体电光调制的原理和实验方法。
- 2、学会用简单的实验装置测量晶体半波电压、电光常数的实验方法。
- 3、观察电光效应所引起的晶体光学特性的变化和会聚偏振光的干涉现象。

三、实验原理

1、一次电光效应和晶体的折射率椭球

由电场所引起的晶体折射率的变化，称为电光效应。通常可将电场引起的折射率的变化用下式表示：

$$n = n_0 + aE_0 + bE_0^2 + \dots \quad (1)$$

式中 a 和 b 为常数， n_0 为不加电场时晶体的折射率。由一次项 aE_0 引起折射率变化的效应，称为一次电光效应，也称线性电光效应或普克尔斯(Pockels)效应；由二次项 bE_0^2 引起折射率变化的效应，称为二次电光效应，也称平方电光效应或克尔(Kerr)效应。一次电光效应只存在于不具有对称中心的晶体中，二次电光效应则可能存在于任何物质中，一次效应要比二次效应显著。

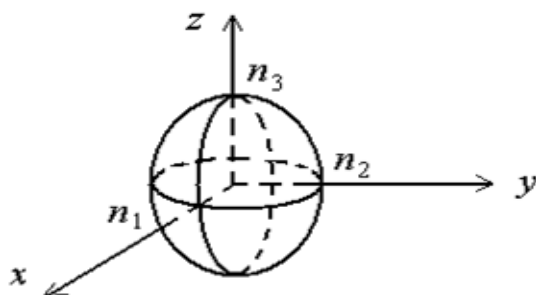


图 1 晶体的折射率球

光在各向异性晶体中传播时，因光的传播方向不同或者是电矢量的振动方向不同，光的折射率也不同。如图 1，通常用折射率球来描述折射率与光的传播方向、振动方向的关系。在主轴坐标中，折射率椭球及其方程为

$$\frac{x^2}{n_1^2} + \frac{y^2}{n_2^2} + \frac{z^2}{n_3^2} = 1 \quad (2)$$

式中 n_1 、 n_2 、 n_3 为椭球三个主轴方向上的折射率，称为主折射率。当晶体加上电场后，折射率椭球的形状、大小、方位都发生变化，椭球方程变成

$$\frac{x^2}{n_{11}^2} + \frac{y^2}{n_{22}^2} + \frac{z^2}{n_{33}^2} + \frac{2yz}{n_{23}^2} + \frac{2xz}{n_{13}^2} + \frac{2xy}{n_{12}^2} = 1 \quad (3)$$

晶体的一次电光效应分为纵向电光效应和横向电光效应两种。纵向电光效应是加在晶体上的电场方向与光在晶体里传播的方向平行时产生的电光效应；横向电光效应是加在晶体上的电场方向与光在晶体里传播方向垂直时产生的电光效应。通常 KD^*P (磷酸二氘钾) 类型的晶体用它的纵向电光效应， $LiNbO_3$ (铌酸锂) 类型的晶体用它的横向电光效应。本实验研究铌酸锂晶体的一次电光效应，用铌酸锂晶体的横向调制装置测量铌酸锂晶体的半波电压及电光系数，并用两种方法改变调制器的工作点，观察相应的输出特性的变化。

铌酸锂晶体属于三角晶系， $3m$ 晶类，主轴 z 方向有一个三次旋转轴，光轴与 z 轴重合，是单轴晶体，折射率椭球是旋转椭球，其表达式为

$$\frac{x^2 + y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_e^2} = 1 \quad (4)$$

式中 n_o 和 n_e 分别为晶体的寻常光和非常光的折射率。加上电场后折射率椭球发生畸变，当 x 轴方向加电场，光沿 z 轴方向传播时，晶体由单轴晶变为双轴晶，垂直于光轴 z 轴方向的折射率椭球截面由圆变为椭圆，此椭圆方程为

$$\left(\frac{1}{n_o^2} - \gamma_{22}E_x\right)x^2 + \left(\frac{1}{n_o^2} + \gamma_{22}E_x\right)y^2 - 2\gamma_{22}E_xxy = 1 \quad (5)$$

其中的 γ_{22} 称为电光系数。上式进行主轴变换后可得到

$$\left(\frac{1}{n_o^2} - \gamma_{22}E_x\right)x'^2 + \left(\frac{1}{n_o^2} + \gamma_{22}E_x\right)y'^2 = 1 \quad (6)$$

考虑到 $n_o^2\gamma_{22}E_x \ll 1$ ，经简化得到

$$\begin{aligned} n_{x'} &= n_o + \frac{1}{2}n_o^3\gamma_{22}E_x \\ n_{y'} &= n_o - \frac{1}{2}n_o^3\gamma_{22}E_x \end{aligned} \quad (7)$$

折射率椭球截面的椭圆方程化为

$$\frac{x'^2}{n_{x'}^2} + \frac{y'^2}{n_{y'}^2} = 1 \quad (8)$$

2、电光调制原理

要用激光作为传递信息的工具，首先要解决如何将传输信号加到激光辐射上去的问题，我们把信息加载于激光辐射的过程称为激光调制，把完成这一过程的装置称为激光调制器。由已调制的激光辐射还原出所加载信息的过程则称为解调。因为激光实际上只起到了“携带”低频信号的作用，所以称为载波，而起控制作用的低频信号是我们所需要的，称为调制信号，被调制的载波称为已调波或调制光。按调制的性质而言，激光调制与无线电波调制相类似，可以采用连续的调幅、调频、调相以及脉冲调制等形式，但激光调制多采用强度调制。强度调制是根据光载波电场振幅的平方比例于调制信号，使输出的激光辐射的强度按照调制信号的规律变化。激光调制之所以常采用强度调制形式，主要是因为光接收器一般都是直接地响应其所接受的光强度变化的缘故。

激光调制的方法很多，如机械调制、电光调制、声光调制、磁光调制和电源调制等。其中电光调制器开关速度快、结构简单。因此，在激光调制技术及混合型光学双稳器件等方面有广泛的应用。电光调制根据所施加的电场方向的不同，可分为纵向电光调制和横向电光调制。利用纵向电光效应的调制，叫做纵向电光调制，利用横向电光效应的调制，叫做横向电光调制。实验只做 LiNbO_3 晶体的横向电光调制实验。

横向电光调制示意图如图 2 所示。电极 D_1 、 D_2 与光波传播方向平行。外加电场则与光波传播方向垂直。

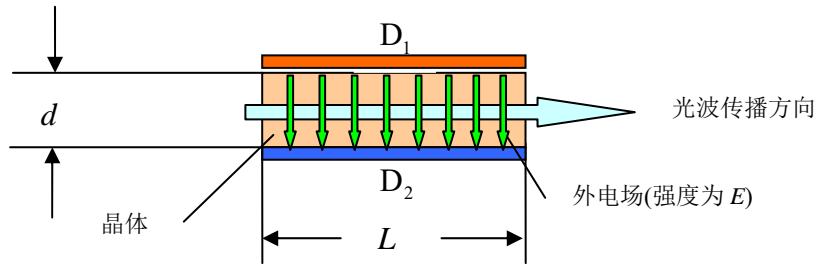


图 2 电光调制原理示意图

图中也是典型 LiNbO_3 晶体横向电光效应原理的激光振幅调制器。要研究光随电场变化我们先假设图 3 坐标系，其中入射晶体需要起偏器，如果起偏器的偏振方向平行于电光晶体的 x 轴，检偏振片的偏振方向平行于 y 轴。因此入射光经起偏振片后变为振动方向平行于 x 轴的线偏振光，它在晶体的感应轴 x' 和 y' 轴上的投影的振幅和相位均相等，设分别为

$$e_{x'} = A_0 \cos \omega t, \quad e_{y'} = A_0 \cos \omega t \quad (9)$$

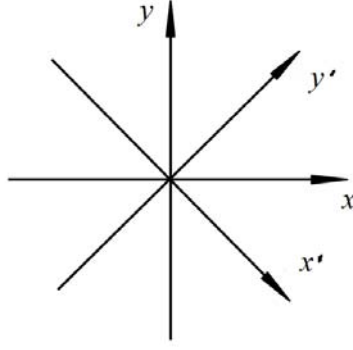


图3 xy 坐标系及感生坐标系

或用复振幅的表示方法，将位于晶体表面($z=0$)的光波表示为

$$E_{x'}(0)=A \quad , \quad E_{y'}(0)=A \quad (10)$$

所以，入射光的强度是

$$I_i \propto \vec{E} \cdot \vec{E} = |E_{x'}(0)|^2 + |E_{y'}(0)|^2 = 2A^2 \quad (11)$$

当光通过长为 L 的电光晶体后， x' 和 y' 两分量之间就产生相位差 δ ，即

$$E_{x'}(l)=A \quad , \quad E_{y'}(l)=A e^{-i\delta} \quad (12)$$

通过检偏振片出射的光，是该两分量在 y 轴上的投影之和

$$(E_y)_0 = \frac{A}{\sqrt{2}}(e^{i\delta} - 1) \quad (13)$$

其对应的输出光强 I_t 可写成

$$I_t \propto [(E_y)_0 \cdot (E_y)_0^*] = \frac{A^2}{2}[(e^{-i\delta} - 1)(e^{i\delta} - 1)] = 2A^2 \sin^2 \frac{\delta}{2} \quad (14)$$

由(11)和(14)式，光强透过率 T 为

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \sin^2 \frac{\delta}{2} \quad (15)$$

由(7)式

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_{x'} - n_{y'})l = \frac{2\pi}{\lambda}n_0^3\gamma_{22}U \frac{l}{d} \quad (16)$$

由此可见， δ 和加在晶体上的电压有关，当电压增加到某一值时 x' 、 y' 方向的偏振光经过晶体后可产生 $\lambda/2$ 的光程差，相应的相位差 $\delta=\pi$ ，由(15)式可知此时光强透过率 $T=100\%$ ，这时加在晶体上的电压称作半波电压，通常用 U_π 表示。 U_π 是描述晶体电光效应的重要参数。在实验中，这个电压越小越好，如果 U_π 小，需要的调制信号电压也小。根据半波电压值，我们可以估计出电光效应控制透过强度所需电压。由(16)式可得到

$$U_{\pi} = \frac{\lambda}{2n_0^3 \gamma_{22}} \left(\frac{d}{l} \right) \quad (17)$$

其中 d 和 l 分别为晶体的厚度和长度。由此可见，横向电光效应的半波电压与晶片的几何尺寸有关。由(17)式可知，如果使电极之间的距离 d 尽可能的减少，而增加通光方向的长度 l ，则可以使半波电压减小，所以晶体通常加工成细长的扁长方体。由(16)、(17)式可得

$$\delta = \pi \frac{U}{U_{\pi}}$$

因此，可将(15)式改写成

$$T = \sin^2 \frac{\pi}{2U_{\pi}} U = \sin^2 \frac{\pi}{2U_{\pi}} (U_0 + U_m \sin \omega t) \quad (18)$$

其中 U_0 是加在晶体上的直流电压， $U_m \sin \omega t$ 是同时加在晶体上的交流调制信号， U_m 是其振幅， ω 是调制频率。从(18)式可以看出，改变 U_0 或 U_m ，输出特性将相应的有变化。对单色光和确定的晶体来说， U_{π} 为常数，因而 T 将仅随晶体上所加的电压变化。

改变直流偏压对输出特性的影响

(1) 当 $U_0 = \frac{U_{\pi}}{2}$ 、 $U_m \ll U_{\pi}$ 时，将工作点选定在线性工作区的中心处，如图 4(a)所示，此时，可获得较高效率的线性调制，把 代入(18)式，得

$$\begin{aligned} T &= \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2U_{\pi}} U_m \sin \omega t \right) \\ &= \frac{1}{2} [1 - \cos \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{U_{\pi}} U_m \sin \omega t \right)] \\ &= \frac{1}{2} [1 + \sin \left(\frac{\pi}{U_{\pi}} U_m \sin \omega t \right)] \end{aligned} \quad (19)$$

$$T \approx \frac{1}{2} \left[1 + \left(\frac{\pi U_m}{U_{\pi}} \right) \sin \omega t \right]$$

由于 $U_m \ll U_{\pi}$ 时

$$\text{即} \quad T \propto \sin \omega t \quad (20)$$

这时，调制器输出的信号和调制信号虽然振幅不同，但是两者的频率却是相同的，输出信号不失真，我们称为线性调制。

(2) 当 $U_0 = 0$ 、 $U_m \ll U_{\pi}$ 时，如图 4(b)所示，把 $U_0 = 0$ 代入(18)式

$$T = \sin^2 \left(\frac{\pi}{2U_{\pi}} U_m \sin \omega t \right)$$

$$= \frac{1}{2} [1 - \cos(\frac{\pi}{U_{\pi}} U_m \sin \omega t)]$$

$$\approx \frac{1}{4} (\frac{\pi}{U_{\pi}} U_m)^2 \sin^2 \omega t$$

$$\approx \frac{1}{8} (\frac{\pi U_m}{U_{\pi}})^2 (1 - \cos 2\omega t)$$

$$\text{即} \quad T \propto \cos 2\omega t \quad (21)$$

从(21)式可以看出，输出信号的频率是调制信号频率的二倍，即产生“倍频”失真。若把 $U_0 = U_{\pi}$ 代入(18)式，经类似的推导，可得

$$T \approx 1 - \frac{1}{8} (\frac{\pi U_m}{U_{\pi}})^2 (1 - \cos 2\omega t) \quad (22)$$

即 $T \propto \cos 2\omega t$ ，输出信号仍是“倍频”失真的信号。

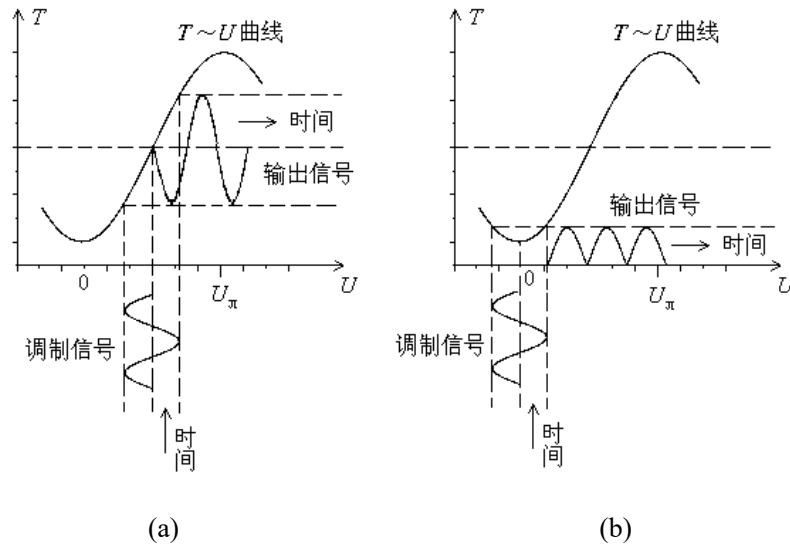


图 4 透过光强随电压的变化光系

(3) 直流偏压 U_0 在 0 伏附近或在 U_{π} 附近变化时，由于工作点不在线性工作区，输出波形将失真。

(4) 当 $U_0 = \frac{U_{\pi}}{2}$ ， $U_m > U_{\pi}$ 时，调制器的工作点虽然选定在线性工作区的中心，但不满足小信号调制的要求，(19)式不能写成(20)式的形式。因此，工作点虽然选定在了线性区，输出波形仍然是失真的。

3、铌酸锂晶体的会聚偏振光干涉

汇聚偏振光干涉又叫锥光干涉，是一种汇聚偏振光的干涉，如图 5 所示，P1 和 P2 是正交的偏振片，L1 是透镜，用来产生会聚光；N 是均匀厚度的晶体。对于本实验中的铌酸锂晶体，不加电压时为单轴晶体，光轴沿平行于激光束的方向，由于对晶体而言不是平行光的入射，不同倾角的光线将发生双折射（如图 6），而 o 光和 e 光的振动方向在不同的入射点也不同。离开晶体时，两条光线平行出射，它们沿 P2 方向振动的分量将在无穷远处汇聚而发生干涉。其光程差 δ 由晶体的厚度 h、o 光和 e 光的折射率之差以及入射的倾角 θ 决定。不难想见，相同 θ 的光线将形成类似等倾干涉的同心圆环（如图 6）。 θ 越大， δ 也越大，明暗相间的圆环间隔就越小。

必须指出，汇聚偏振光干涉的明暗分布不仅与光程差有关，还与参与叠加的 o 光和 e 光的振幅比有关。其中形成中央十字线的是来自沿 X 和 Y 平面进入晶体的光线，这些光线在进入晶体后或者有 o 光，或者只有 e 光，而且它们由晶体出射或都不能通过偏振片 P2，形成了正交的黑色十字，而且黑十字的两侧也由内向外逐渐扩展。

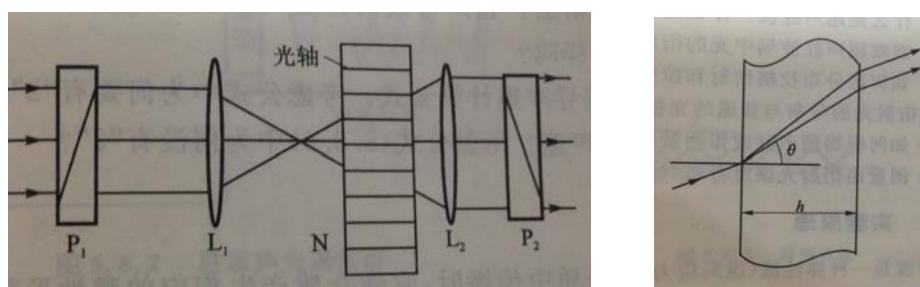


图 5 锥光干涉原理示意图



图 6 锥光干涉图案

4、交变调制信号在特殊角度下的“倍频”现象

如果电光调制电源在不输出直流电压的情况下单纯采用了一个正弦调制信号，即 $V = V_0 \sin \omega t$ ，那么原来单轴晶体在电压作用下产生的感生轴如图 3 所示。

如果此时起偏器 P 沿 x 方向透振，检偏器 A 沿 y 方向透振，电光调制晶体的感生主轴 ξ , η 方向和 x 轴成 45° 角，则输出光波的光强为：

$$I' = I_0 \sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right) = I_0 \sin^2\left(\frac{\pi V_0}{2V_\pi} \sin \omega t\right) = a_0 + a_2 J_2\left(\frac{\pi V_0}{V_\pi}\right) \cos(2\omega t) - \dots$$

式中 a_0 、 a_2 为常数， J_k 为 k 阶贝塞尔函数。上式表明输出的交变信号为二次

频率信号，没有基频。这是系统零点的特征。

调制电压、晶体的相位差、输出光强的关系如图 7 所示。

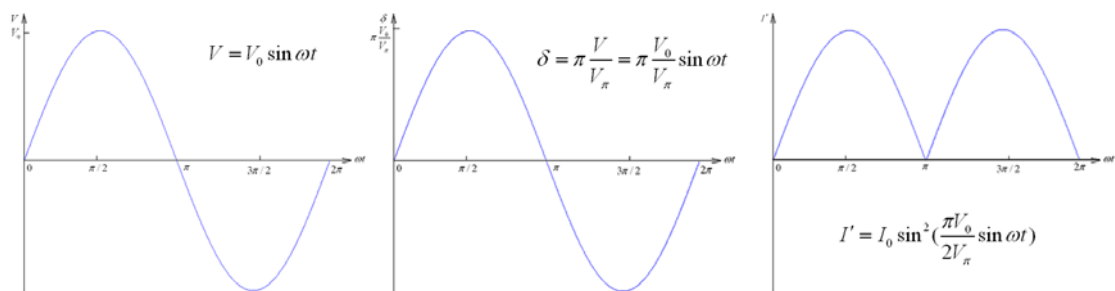


图 7 调制电压、晶体的相位差、输出光强的关系

在直流偏置 $V=0$ ，在交变调制信号不变（交变调制信号强度较小）的情况下，逐渐增加直流偏置信号，直到 $V=V_\pi$ 时，第二次获得“倍频”信号，那么可以根据这个方法测量电光晶体的半波电压。

四、实验内容

1、观察晶体的会聚偏振光干涉图样

1-1 晶体的会聚偏振光干涉图样光路搭建

（1）参考图 8 搭建晶体的会聚偏振光干涉图样光路。自左向右依次为**激光器**、**起偏器**、**聚焦透镜**（直径 20mm，f30mm）、**电光晶体**、**检偏器**和白屏。



图 8 球差测量光路图

（2）调整过程需参照固定高度器件调整器件等高，如可以选择**光阑**作为参照，可将光阑调整适当高度。

（3）安装**激光器**，并调整水平，借助**可变光阑**（开孔约 2mm），光阑在激光器的近处和远处，分别调节激光整体高低和夹持器的水平俯仰旋钮，反复 2 次即可将激光器调平，最终使出射激光束与导轨台面平行。

（4）安装**电光晶体**，在激光器后安装电光晶体，并调整晶体高度使激光通过晶体中心，激光器与电光晶体之间预留安装偏振片和聚焦透镜的空间。

（5）安装**起偏器**，在激光器后安装起偏器，并调整起偏器高低，使光束通过起偏器中心。

(6) 安装**检偏器**，在电光晶体之间安装检偏器，并调整检偏器高低，使光束通过检偏器中心。

(7) 安装**聚焦透镜**，在起偏器和晶体之间安装聚焦透镜，调整聚焦透镜与晶体之间的距离，使透镜聚焦点落在晶体中心，即可在白屏上看到透射的光斑。

1-2 结果记录及数据处理

(1) 调整晶体位置（晶体表面与）即可看到“十”字，如果图样有倾斜，可以调整前后两个偏振片偏振方向不是水平和竖直，适当调整可以修正。

(2) 锥光干涉的图样如图 9 所示，一个暗十字图形贯穿整个图样，四周为明暗相间的同心干涉圆环，十字形中心同时也是圆环的中心，它对应着晶体的光轴方向，十字形方向对应于两个偏振片的偏振轴方向。在观察过程中要反复微调晶体，使干涉图样中心与光点位置重合，同时尽可能使图样对称、完整，确保光束既与晶体光轴平行，又从晶体中心穿过的要求，再调节使干涉图样出现清晰的暗十字，且十字的一条线平行于 x 轴。



图 9 锥光干涉的图样

(3) 晶体红黑高压头分别与电光高压电源后面板正负接口相连，如果此时调整“偏置高压”随着晶体两端电压变化可以看到黑十字发生变形，可以推断由单轴晶体变化为双轴晶体。

2、极值法测量铌酸锂晶体的透过功率曲线(即 $P \sim U$ 曲线)，计算半波电压 U_{π} 和电光系数 γ_{22}

2-1 极值法测量晶体半波电压光路搭建

(1) 参考图 10 搭建极值法测量半波电压光路。自左向右依次为**激光器**、**起偏器**、**电光晶体**、**检偏器**和**功率计**。

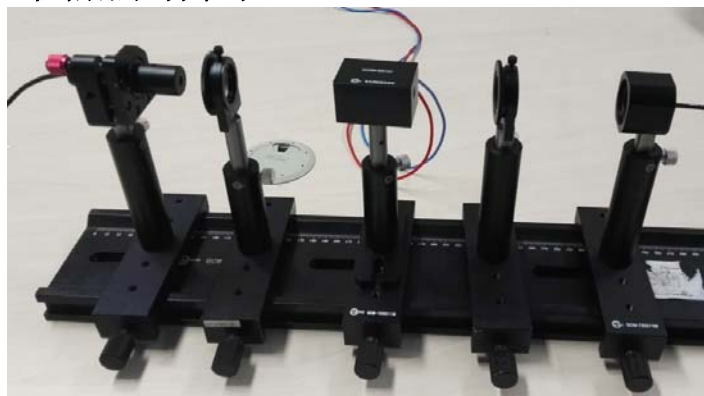


图 10 极值法测量半波电压光路图

(2) 调整过程需参照固定高度器件调整器件等高，如可以选择**光阑**作为参照，可将光阑调整适当高度。

(3) 安装**激光器**，并调整水平，借助**可变光阑**（开孔约 2mm），光阑在激光器的近处和远处，分别调节激光整体高低和夹持器的水平俯仰旋钮，反复 2 次即可将激光器调平，最终使出射激光束与导轨台面平行。

(4) 安装**电光晶体**，在激光器后安装电光晶体，并调整晶体高度使激光通过晶体中心，激光器与电光晶体之间预留安装偏振片和聚焦透镜的空间。

(5) 安装**起偏器**，在激光器后安装起偏器，并调整起偏器高低，使光束通过起偏器中心。

(6) 安装**检偏器**，电光晶体后安装检偏器，并调整检偏器高低，是光束通过检偏器中心。

(7) 安装**功率计**，调整功率探头位置，使检偏器出射的光束落在功率计探头中心。

2-2 结果记录及数据处理

(1) 调整起偏器的偏振方向为水平或竖直，并与检偏器的偏振方向相互垂直，调试过程可以参考锥光干涉实验，最终在白屏上看到锥光“十”字，并旋转两个偏振片方向，保证“十”字不会倾斜，即偏振方向相互垂直。

(2) 晶体红黑高压头分别与电光高压电源后面板正负接口相连，调整“电光调制高压电源”偏置高压旋钮，读取“高压示数”和“功率计示数”，完成表 1.



图 11 电光调制高压电源

(3) 随着直流电压从小到大逐渐改变（可间隔 50V），输出的光强将会出现极小值和极大值，相邻极小值和极大值对应的直流电压之差即是半波电压 U_{π} 。

偏压 U(V)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
光强 P(mw)											
偏压 U(V)	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1100
光强 P(mw)											

表 1 透过光强随偏置电压的变化记录表

(4) 以 P 为纵坐标, U 为横坐标, 画 $P \sim U$ 关系曲线, 确定半波电压 U_{π} 的数值。

(5) 根据公式

$$U_{\pi} = \frac{\lambda}{2n_0^3 \gamma_{22}} \left(\frac{d}{l} \right), \text{ 计算电光系数 } \gamma_{22}。$$

其中: 晶体厚度 $d=5\text{mm}$, 宽度 $w=5\text{mm}$, 长度 $l=30\text{ mm}$, $n_0=2.29$, 激光波长 $\lambda=650\text{nm}$ 。

3、调制法测量铌酸锂晶体的半波电压, 计算电光系数 γ_{22}

3-1 调制法测量晶体半波电压光路搭建

(1) 参考图 12 搭建调制法测量半波电压光路。自左向右依次为激光器、起偏器、电光晶体、检偏器和光电探测器。

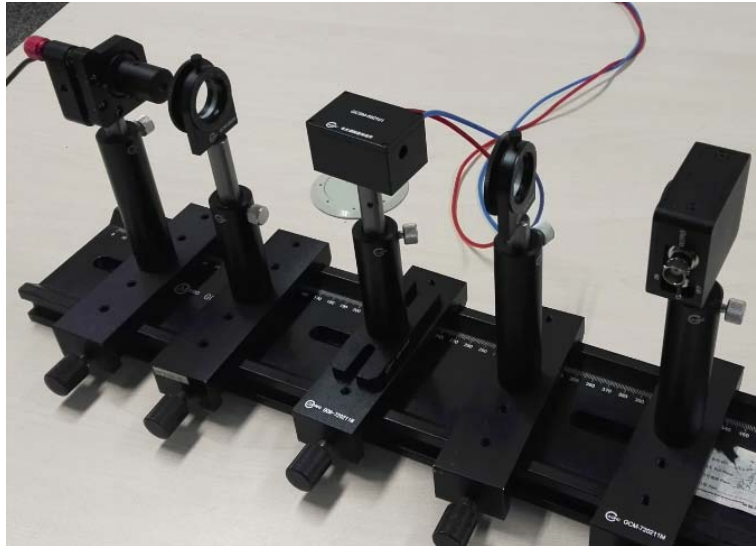


图 12 调制法测量半波电压光路图

(2) 调整过程需参照固定高度器件调整器件等高, 如可以选择光阑作为参照, 可将光阑调整适当高度。

(3) 安装激光器, 并调整水平, 借助可变光阑 (开孔约 2mm), 光阑在激光器的近处和远处, 分别调节激光整体高低和夹持器的水平俯仰旋钮, 反复 2 次即可将激光器调平, 最终使出射激光束与导轨台面平行。

(4) 安装电光晶体, 在激光器后安装电光晶体, 并调整晶体高度使激光通过晶体中心, 激光器与电光晶体之间预留安装偏振片和聚焦透镜的空间。

(5) 安装起偏器, 在激光器后安装起偏器, 并调整起偏器高低, 使光束通过起偏器中心。

(6) 安装检偏器, 电光晶体后安装检偏器, 并调整检偏器高低, 是光束通过检偏器中心。

(7) 安装光电探测器, 调整探测器位置, 使检偏器出射的光束落在探测器

中心。

3-2 结果记录及数据处理

(1) 调整起偏器的偏振方向为水平或竖直，并与检偏器的偏振方向相互垂直，调试过程可以参考锥光干涉实验，最终在白屏上看到锥光“十”字，并旋转两个偏振片方向，保证“十”字不会倾斜，即偏振方向相互垂直。

(2) 晶体红黑高压头分别与电光高压电源后面板正负接口相连，“电光调制高压电源”的信号监测选择“外”，音频输入选择“内”，“正弦波/方波”选择“正弦波”，适当调整“幅度调节”，调整“频率调节”到 2kHz，观察示波器波形，如图 13 所示。



图 13 正弦波调制曲线



图 14 正弦波“倍频”调制曲线

(3) 调整“偏置电压”旋钮，可以观察示波器正弦波形失真，及出现 4kHz 的“倍频”信号，即找到第一个特征点，同时记下此时偏置电压 U_1 ，继续增加偏置电压，“倍频”信号先消失，然后第二次出现“倍频”信号，此时对应的偏置电压为 U_2 ，两次的电压差值即为晶体的半波电压 U_π 。

说明：这种方法比极值法更精确，因为用极值法测半波电压时，很难准确的确定 $P \sim U$ 曲线上的极大值或极小值，因而其误差也较大。但是这种方法对调节的要求很高，很难调到最佳状态。如果观察不到两次倍频失真，则需要重新调节暗十字形干涉图样，调整好后再做。

(4) 根据公式

$$U_\pi = \frac{\lambda}{2n_0^3 \gamma_{22}} \left(\frac{d}{l} \right), \text{ 计算电光系数 } \gamma_{22}。$$

其中：晶体厚度 $d=5\text{mm}$ ，宽度 $w=5\text{mm}$ ，长度 $l=30\text{mm}$ ， $n_0=2.29$ ，激光波长 $\lambda=650\text{nm}$ 。

4、测试 1/4 波片不同工作点的输出特性

4-1 搭建测试 1/4 波片不同工作点输出特性光路

(1) 参考图 15 搭建测试 1/4 波片不同工作点输出特性光路。自左向右依次为激

光器、起偏器、电光晶体、1/4 波片、检偏器和光电探测器。



图 15 测试 1/4 波片不同工作点输出特性光路

(2) 调整过程需参照固定高度器件调整器件等高，如可以选择**光阑**作为参照，可将光阑调整适当高度。

(3) 安装**激光器**，并调整水平，借助**可变光阑**（开孔约 2mm），光阑在激光器的近处和远处，分别调节激光整体高低和夹持器的水平俯仰旋钮，反复 2 次即可将激光器调平，最终使出射激光束与导轨台面平行。

(4) 安装**电光晶体**，在激光器后安装电光晶体，并调整晶体高度使激光通过晶体中心，激光器与电光晶体之间预留安装偏振片和聚焦透镜的空间。

(5) 安装**起偏器**，在激光器后安装起偏器，并调整起偏器高低，使光束通过起偏器中心。

(6) 安装**1/4 波片**，在起偏器后安装 1/4 波片，并调整波片高低，使光束通过波片中心。

(7) 安装**检偏器**，电光晶体后安装检偏器，并调整检偏器高低，是光束通过检偏器中心。

(8) 安装**光电探测器**，调整探测器位置，使检偏器出射的光束落在探测器中心。

4-2 结果记录及数据处理

(1) 调整起偏器的偏振方向为水平或竖直，并与检偏器的偏振方向相互垂直，调试过程可以参考锥光干涉实验，最终在白屏上看到锥光“十”字，并旋转两个偏振片方向，保证“十”字不会倾斜，即偏振方向相互垂直。

(2) 晶体红黑高压头分别与电光高压电源后面板正负接口相连，“电光调制高压电源”的信号监测选择“内”，音频输入选择“外”，“正弦波/方波”选择“正弦波”，适当调整“幅度调节”，调整“频率调节”到 2kHz，观察示波器波形，如图 13 所示。

(3) 将偏置电压调为 0，缓慢旋转波片，可以观察正弦波形，出现调制“失

真”和调制线性。

(4) 如果在调制“失真”状态，可以调整“偏置电压”会出现调制线性。值得注意的是，通过在晶体上加直流偏压可以改变调制器的工作点，也可以用1/4波片选择工作点，其效果是一样的，但这两种方法的机理是不同的。

5、光通信演示实验

5-1 搭建光通信演示实验

(1) 参考图 16 搭建光通信演示实验。自左向右依次为激光器、起偏器、电光晶体、1/4波片、检偏器和光电探测器。



图 16 光通信演示实验光路

(2) 调整过程需参照固定高度器件调整器件等高，如可以选择光阑作为参照，可将光阑调整适当高度。

(3) 安装激光器，并调整水平，借助可变光阑（开孔约 2mm），光阑在激光器的近处和远处，分别调节激光整体高低和夹持器的水平俯仰旋钮，反复 2 次即可将激光器调平，最终使出射激光束与导轨台面平行。

(4) 安装电光晶体，在激光器后安装电光晶体，并调整晶体高度使激光通过晶体中心，激光器与电光晶体之间预留安装偏振片和聚焦透镜的空间。

(5) 安装起偏器，在激光器后安装起偏器，并调整起偏器高低，使光束通过起偏器中心。

(6) 安装 1/4 波片，在起偏器后安装 1/4 波片，并调整波片高低，使光束通过波片中心。

(7) 安装检偏器，电光晶体后安装检偏器，并调整检偏器高低，是光束通过检偏器中心。

(8) 安装光电探测器，调整探测器位置，使检偏器出射的光束落在探测器中心，探测器并连接到音箱上。

5-2 结果记录及数据处理

(1) 晶体红黑高压头分别与电光高压电源后面板正负接口相连,“电光调制高压电源”的信号监测选择“外”,音频输出选择“外”,“正弦波/方波”均不在工作,将 MP3 音源链接到“音频输入”的 BNC 口,适当调整“幅度调节”,“偏置电压”可以适当调整。

(2) 调整音箱音量,同时旋转波片,也可以适当调整偏振片,最终可以听到 MP3 播放的声音。

注意事项

1、电光晶体又细又长,容易折断,电极是真空镀的银膜,操作时要注意,晶体电极上面的铜片不能压的太紧或给晶体施加压力,以免压断晶体。

2、PIN 光电二极管实验过程中由于激光较强会出现饱和,所以在不影响效果额情况下可以尽量少让激光入射。

4. 电源上的旋钮顺时针方向为增益加大的方向,因此,电源开关打开前,所有旋钮应该逆时针方向旋转到头,关仪器前,所有旋钮逆时针方向旋转到头后再关电源。