文章编号:1002-2082(2010)01-0105-05

电光调制晶体半波电压倍频测量方法的讨论

郭明磊[1]，韩新风[1]，章毛连[2]
(1. 安徽科技学院， 安徽 凤阳 233100；
2. 中国科学院 等离子体物理研究所， 安徽 合肥 230031)

摘　要：在电光调制晶体的半波电压倍频法测量中，基于晶体电光效应分析了不同偏压下输出信号与调制信号之间的线性与倍频关系，并利用计算机模拟分析了调制信号的调制幅度对倍频信号的影响，分析结果表明倍频信号受高阶谐波分量的干扰产生波形畸变，不利于晶体半波电压的倍频法测量。提出利用李萨如图形的对称性来确定电光调制的倍频位置，克服了调制幅度波形畸变问题的干扰。通过对半波电压不同测量方法的实验测量和对比分析，说明该方法可操作性好，测量精确度也比直接观察倍频信号输出波形要高。

关键词：电光调制；半波电压；倍频法
中图分类号：TN76；O436.4　　**文献标志码**：A

Frequency doubling method for half-wave voltage measurement based on electro-optical modulation

GUO Ming-lei[1], HAN Xin-feng[1], ZHANG Mao-lian[2]
(1. Anhui University of Science and Technology, Fengyang 233100, China;
2. Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Science, Hefei 230031, China)

Abstract: To study half-wave voltage measurement in the electro-optic modulation experiment, the main relationships including double-frequency characteristics and linear characteristics between output signal and modulation signal are analyzed based on the principle of crystal electro-optic modulation. The influence of the amplitude of modulating signal on the frequency doubling signal is investigated by computer simulation. The analysis shows that the frequency doubling signal waveform is distorted under the impact of high order harmonic wave, which is not in favor of crystal half-wave voltage measurement. Symmetry of Lissajou figure is used to determine the position of the frequency doubling signal and overcome the disturbance of modulating amplitude waveform aberration. Compared to other methods, this method is easy to use and can measure half-wave voltage accurately.

Key words: electro-optical modulation; half-wave voltage; frequency doubling method

引言

依据晶体电光效应制作的各种调制器件在激光通信、激光测距、激光调Q、光学数据处理等方面得到了广泛的应用。半波电压是电光调制晶体的一个重要的物理参数，测量的方法主要有极值法、倍频法等[1-3]。极值法即不加调制信号测量输出光强随直流偏压的变化曲线，曲线上极大值和极小值所对应的直流偏压值之差即为半波电压。因极大值和极小值准确定位的难度及光源、光学器件引起的光强不稳定，导致其测量误差较大。倍频法对晶体加

收稿日期：2009-04-09；　**修回日期**：2009-09-14
基金项目：安徽省教育厅研究课题(2008jyxm338)；安科院引进人才科研项目(ZRC2008182)
作者简介：郭明磊(1980—)男，山东临沂人，硕士，助教，从事激光技术应用研究。E-mail：Guoml99@163.com

调制电压,将调制信号和输出信号输入示波器,通过波形对比确定是否出现倍频失真,用信号倍频位置的观测代替光强极值的判断,且光源及光学元件的不稳定一般只影响信号的强度不影响频率,故测量精度高,抗干扰能力强[4-5]。但倍频信号的观测会受到调制幅度波形畸变的影响。本文从电光调制的原理出发,研究波形畸变的规律,并对调制幅度的影响进行了探讨,提出利用李萨如图形确定倍频位置的方法,测量更为精确,且不受波形畸变的影响。

1　实验原理

电光调制的物理基础是电光效应,即晶体的折射率在外加电场的作用下发生变化的现象,在输入光强恒定的情况下,若加在晶体上的电压是随时间变化的电信号,则输出光强会随着信号电压的变化而发生变化,从而实现电光调制。典型的 $LiNbO_3$ 晶体横向电光调制实验原理如图1所示。

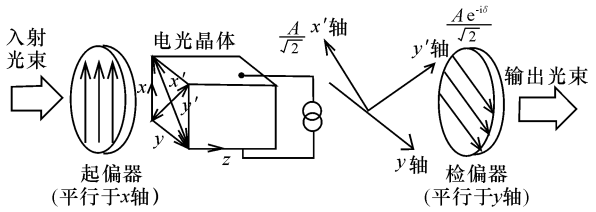

图1　$LiNbO_3$ 电光调制原理图

Fig. 1　Schematic of $LiNbO_3$ electro-optical modulation concept

起偏器与检偏器的偏振方向分别平行于电光晶体的 x 轴和 y 轴,入射光垂直于晶体表面沿晶体主轴 z 方向入射,当在晶体 x 方向加上电场时,晶体感应轴为 x' 和 y',相当于 x 和 y 绕 z 轴旋转了45°。设经过起偏器所得的线偏振光振幅为 A,它沿 x' 和 y' 方向振幅的分量分别为

$E_{x'}(0)=A/\sqrt{2}$,$E_{y'}(0)=A/\sqrt{2}$ 因为 x' 与 y' 方向上折射率不同,两分量之间会产生相位差 δ。通过长为 l 的电光晶体后,$E_{x'}(l)=A/\sqrt{2}$,$E_{y'}(l)=Ae^{-i\delta}/\sqrt{2}$,两分量在 y 轴方向(检偏器透振方向)的投影之和为

$$E_y=\frac{E_{y'}(l)}{\sqrt{2}}-\frac{E_{x'}(l)}{\sqrt{2}}=\frac{A}{2}(e^{-i\delta}-1) \tag{1}$$

出射光强为

$$I=E_yE_y^*=A^2\sin^2\frac{\delta}{2} \tag{2}$$

使晶体产生相位差 $\delta=\pi$ 时的电压值即为半波电压 U_π。若施加在晶体上的电压为 U,则该电压对相位差 δ 的影响可以用半波电压表示为 $\delta=\pi\frac{U}{U_\pi}$,$U$ 包括偏置直流电压 U_0 和交流调制信号电压 $U_m\sin wt$ 两部分,即 $U=U_0+U_m\sin wt$,出射光强可表示为

$$I=A^2\sin^2\frac{\pi U}{2U_\pi}=A^2\sin^2\frac{\pi}{2U_\pi}(U_0+U_m\sin wt) \tag{3}$$

式中:U_m 称为调制幅度。

2　讨论

在不加调制电压的情况下,输出光强 I 随偏置电压 U_0 变化,且在 $U_0=\frac{U_\pi}{2}$ 的一定范围内曲线有较好的线性关系。

若给晶体加调制电压信号,当偏置电压 $U_0=\frac{U_\pi}{2}$ 时,由(3)式得

$$I=\frac{1}{2}A^2[1+\sin(\pi\frac{U_m}{U_\pi}\sin wt)] \tag{4}$$

若调制幅度远小于半波电压,即 $U_m\ll U_\pi$,

$$I\approx\frac{1}{2}A^2(1+\pi\frac{U_m}{U_\pi}\sin wt)\propto\sin wt \tag{5}$$

此时调制信号与输出信号具有相同的频率和波形,达到线性调制。

当 $U_0=0$ 时,由(3)式得

$$I=A^2\sin^2(\frac{\pi}{2}\frac{U_m}{U_\pi}\sin wt) \tag{6}$$

当 $\frac{U_m}{U_\pi}\ll1$ 时,$\sin^2\theta\approx\theta^2$

$$I\approx A^2\frac{\pi}{8}(\frac{U_m}{U_\pi})^2(1-\cos 2wt) \tag{7}$$

此时出现倍频失真信号,倍频信号输出波形如图2(a)所示。当 $U_0=U_\pi$ 时,同理,

$$I\approx A^2[1-\frac{\pi}{8}(\frac{U_m}{U_\pi})^2(1-\cos 2wt] \tag{8}$$

亦会出现倍频失真。U_0 为其他值时,则不会出现倍频失真,以上两个倍频信号出现的位置分别与极值法中的光强极小值和极大值相对应。

若不满足条件 $U_m\ll U_\pi$,调制幅度会对倍频信号产生畸变。为了不忽视调制幅度的影响,笔者通过理论计算,用图2(a),图2(b),图2(c)分别展示了 U_m 为 U_π,$1.5U_\pi$,$2U_\pi$ 时,倍频信号的畸变规律。若利用一类贝塞尔函数对(3)式展开,则

$$I=\frac{A^2}{2}[1-\cos(\frac{\pi U_m\sin wt}{U_\pi})]=\frac{A^2}{2}[1-\sum_{k=0}^{\infty}J_{2k}(\pi\frac{U_m}{U_\pi})\cos(2kwt)] \tag{9}$$

可见倍频信号受到高阶偶次谐波分量的干扰而发生畸变。

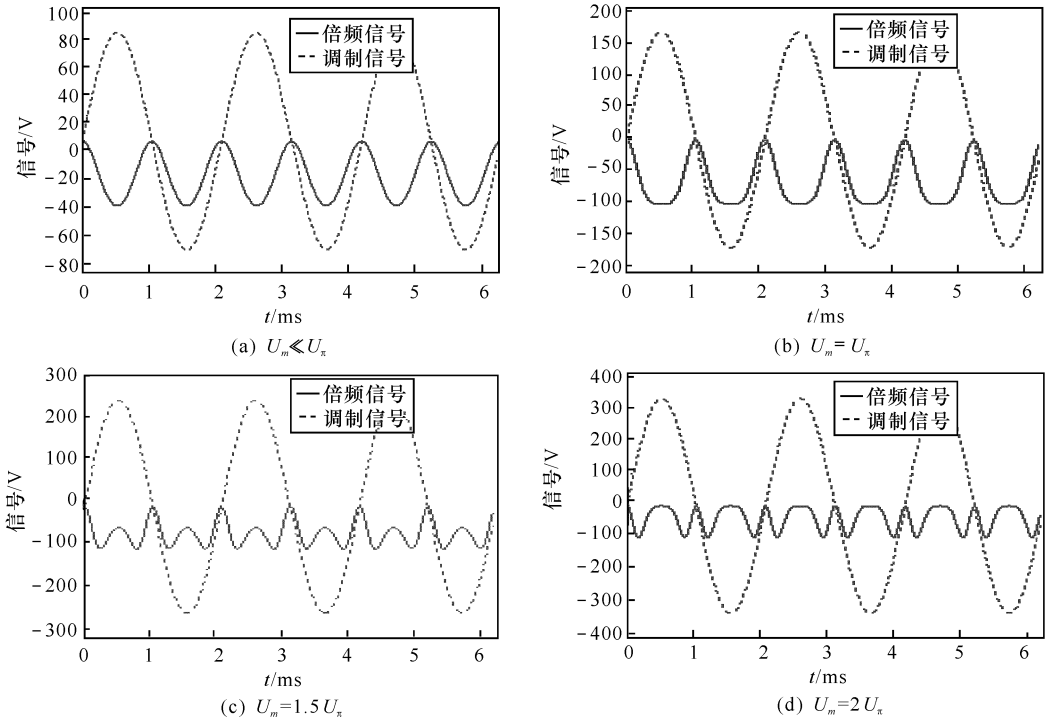

图 2　倍频信号波形

Fig. 2　Frequency doubling signal waveform

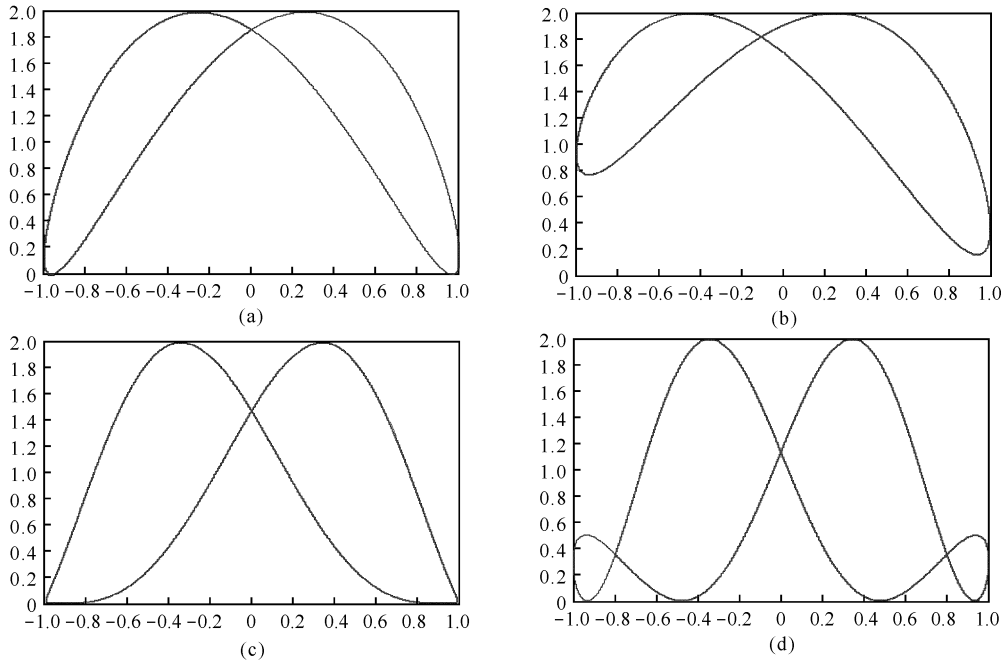

图 3　倍频信号的李萨如图形

Fig. 3　Lissajou curve of frequency doubling signal

为了克服以上波形畸变的干扰,在电光调制晶体半波电压倍频法观测中,可以利用李萨如图形确定倍频位置,将调制信号和倍频信号分别输入示波器CH1 和CH2 通道,选择合适的信号扫描时间和信号衰减幅度,并进行正弦信号的$x-y$叠加,便会产生抛物线型的李萨如图形。一般情况下调制信号与倍频信号之间存在一定的相位差(不妨设为$\pi/9$),此时李萨如图形如图 3(a)所示,为左右对称的'∞'形,且交叉点位于水平正中。可以借助示波器的网格线,精确判定交叉点是不是处在网格中心

来确定倍频位置。若所加偏置电压偏离了倍频电压值,则图形会出现严重不对称,如图3(b)所示。用李萨如图形确定倍频位置比直接观察倍频信号输出波形要更加方便。尤其是在调制幅度U_m较大的情况下,倍频信号波形会发生畸变,不利于直接观测,但是倍频信号的李萨如图形不会丧失对称性,U_m为U_π和$1.5U_\pi$时的李萨如图形,如图3(c)和图3(d)所示。

3　实验分析

在不加调制电压的情况下,输出光强I随偏置电压U_0变化,且I-U_0关系曲线是非线性变化的,如图4所示,为更好地反映I-U_0关系,笔者用DGT-B型晶体电光调制器、SGN-2型光功率测试仪,以U_0为10 V的间隔量进行了测量。由图4可以看出,对于不同的偏置电压点,相同的电压变化量对光强将产生不同的影响,必须选择合适的偏置电压和调制幅度,才能达到线性调制。实验曲线的零偏置电压点的最小光强值并不为0,而是相对于理论曲线发生少许偏移。虽然理论上$U_0=0$时,$I=0$;$U_0=U_\pi$时,I最大,但是若晶体生长不均匀,入射光经过起偏器、铌酸锂晶体、检偏器(起偏器与检偏器正交,且分别平行晶体x和y轴),就会发生这种现象。

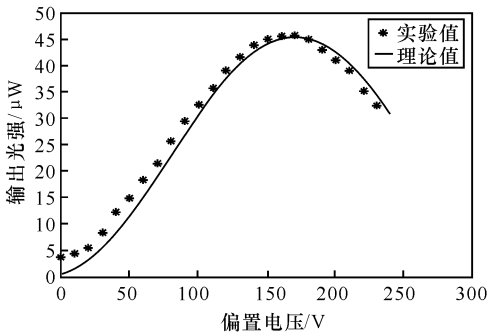

图4　光强与偏置电压关系曲线

Fig. 4　Relation between light intensity and bias voltage

为此,用极值法测量半波电压,应先对晶体加正向直流偏压,测量最大光强所对应的电压值,然后改变直流电压的极性,测出最小光强0所对应的电压值,2次电压的绝对值之和为半波电压。倍频法同样要通过波形对比,确定出与极值法中光强最大和最小所对应的倍频位置,求其2次电压绝对值之和。分别用极值测量法、倍频信号直接观测法和倍频信号李萨如图形观测法,对$LiNbO_3$电光晶体进行测量。实验所用激光波长$\lambda=633$ nm,晶体厚度$d=2.5$ mm,长度$L=45$ mm,$n_o=2.297$,$n_e=2.200$,$\gamma_{13}=9.6\times10^{-12}$ m/V,$\gamma_{33}=30.9\times10^{-12}$ m/V,半波电压的理论值为$U_\pi=\dfrac{\lambda d}{(n_e^3\gamma_{33}-n_o^3\gamma_{13})}=165$ V,不同实验方案的对比分析如表1所示。在倍频法测量时,实验中所加的调制信号为幅度较大的正弦调制信号。

表1　实验方案的对比

Table 1　Comparison of different experiments

极值法测量		倍频信号直接测量		倍频信号李萨如图形测量	
正	负	正	负	正	负
168	−3	163	−8	160	−7
170	−1	161	−7	161	−7
167	−3	160	−9	160	−7
$U_\pi=170.7$V		$U_\pi=169.3$V		$U_\pi=167.3$V	

4　结束语

在电光调制晶体的半波电压倍频法测量中,调制信号的调制幅度较大时会对倍频信号产生畸变,用李萨如图形观测可以克服调制幅度波形畸变问题的干扰。该方法可操作性好,测量精确度高,对于晶体半波电压的准确测量提供了实验方法和测量依据。

参考文献:

[1]　孙鉴,牟海维,刘世清,等.电光调制实验中半波电压的测量[J].光电子技术,2007,27(3):212-215.
SUN Jian, MOU Hai-wei, LIU Shi-qing, et al. Measure-ment of half-wave voltage in electro-optic modulation experiment [J]. Optoelectronic Technology,2007,27(3):212-215. (in Chinese with an English abstract)

[2]　利潮锐.晶体电光调制及通信观测分析[J].实验室研究与探索,2007,26(12):40-43.
LI Chao-rui,Observations of electro-optic effect and audio communication[J]. Research and exploration in laboratory,2007,26(12):40-43. (in Chinese with an English abstract)

[3]　曹硕,马莹莹,高鹏.锥光干涉图、光强透过率曲线对电光调制实验的影响[J].辽宁大学学报,2007,34(4):309-341.
CAO Shuo, MA Ying-ying, GAO Peng. The effect of conoscopic interference pattern and optic intensity trans missivity curve for electro-optic modulation experiment [J]. Journal of LiaoNing University, 2007,34(4):309-341. (in Chinese with an English abstract)

[4]　孙鉴,牟海维,刘世清,等.电光调制中半波电压测量

方法的研究[J]. 大学物理,2008,27(10):40-43.
SUN Jian, MOU Hai-wei, LIU Shi-qing, et al. Study on measuring half-wave voltage in eletro-optic modulation[J]. College Physics ,2008,27(10):40-43. (in Chinese with an English abstract)

[5] 陈晓莉,王培吉. 对晶体电光调制实验中输出光波曲线特性的理论分析[J]. 实验技术与管理,2008,25(1):52-54.
CHEN Xiao-li, WANG Pei-ji. Theoretic analysis on the export light-wave curve of electro-optical modulation experiment[J]. Experiment technology and Management, 2008, 25(1): 52-54. (in Chinese with an English abstract)

[6] 底楠,徐晓鹏. 关于磁光调制倍频法的讨论和改进[J]. 物理实验,2007,27(5):10-12.
DI Nan, XU Xiao-peng. Discuss and improvement on momdf. [J]. Physics Experimentation, 2007, 27(5): 10-12. (in Chinese with an English abstract)