

干涉法测量晶体电光系数 实验装置的改进

尹 鑫

(山东大学晶体材料研究所, 济南)

提 要

用一台泰曼干涉仪, 以压电晶体的逆压电效应补偿晶体电光效应所引起的光程变化, 提供了一种简单、迅速和高灵敏度测量晶体电光系数的方法。

关键词: 干涉法、电光系数。

一、引 言

干涉法测量晶体的电光系数有如下优点: 1. 灵敏度高。2. 用其它方法不能分离开测量的电光系数, 用干涉法可以完全相互独立地测量, 如 $3m$ 点群的 γ_{13} 和 γ_{33} 。

干涉法测量晶体的电光系数首先由 J. D. Zook 等人于 1967 年提出^[1], 他们使用一台迈克尔逊干涉仪, 晶体置于干涉仪分光后的一束光路中, 另一束光作为参考光束, 参考光束的光程由一安装在 PZT 换能器上的振动镜进行周期性调制。锯齿波电压加在换能器上, 以引起一线性时间响应的相位因子。测量振动镜产生的正弦波光强信号的相移 (这相移是由晶体电光效应所引起的), 计算出晶体的电光系数。

后来, Y. Fujii 等人作了改进^[2], 他们用一台 Mach-Zehnder 干涉仪, 在参考光路中置一玻璃光劈, 用马达带动玻璃光劈转动, 对参考光束进行周期性调制。测量原理与文献 [1] 相同, 见文献 [2] 中的图 2。

1972 年, K. Onuki 等人^[3]在 Mach-Zehnder 干涉仪的一光路中, 插入一参考样品 DKDP (或 LiTaO_3), 以其电光效应引起的光程变化补偿待测样品所引起的光程变化, 进行相对测量。这样, 既减小了机械振动, 测量过程也简单迅速。至今, 人们一直采用这种装置测量晶体的电光系数^[4~6]。

我们参照上面的实验装置, 作了进一步改进。

二、实 验 装 置

改进后的干涉法测量晶体电光系数的实验装置如图 1 所示。

它的主要部分是一台泰曼干涉仪, 电光晶体置于干涉仪分光后的一束光路中, 其电感应主轴与光的偏振方向一致, 这束光的全反射镜和一压电晶体胶合在一起。低频信号发生器输

出两路频率相同的正弦波，其中一路信号的相位在 360° 范围内连续可调，经两台高压放大器放大后，分别加在电光晶体和压电晶体上。两束光的干涉条纹经透镜放大后，由狭缝取出中间的一部分，探测器将其转变为电信号。锁定放大器对光的干涉信号进行放大，低频信号发生器输出的另一相同频率的方波作为锁定放大器的参考信号。

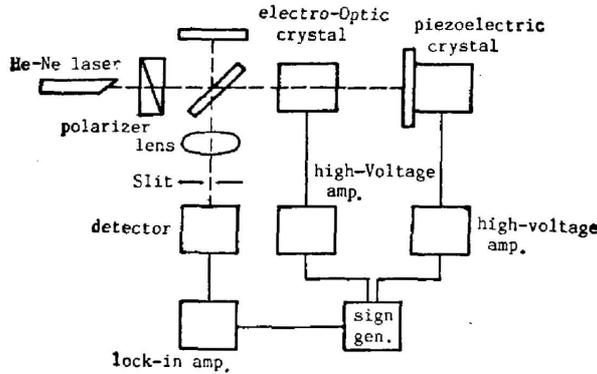


Fig. 1 The experimental setup of improved interferometric method for measuring electro-optic coefficients of crystals

缝取出中间的一部分，探测器将其转变为电信号。锁定放大器对光的干涉信号进行放大，低频信号发生器输出的另一相同频率的方波作为锁定放大器的参考信号。

当在电光晶体上加电压时，由于晶体的电光效应改变了两束光的光程差，光的干涉信号发生了变化，再在压电晶体上加电压，利用其逆压电效应所产生的形变，推动全反射镜移动，补偿电光晶体电光效应所引起的光程差，使干涉信号的强度恢复至原来状态。

压电晶体的逆压电效应所引起的光程变化为^[7]

$$\Delta_1 = 2d_{ij}l_1V_1/d_1 \quad (1)$$

式中 d_{ij} 为压电晶体的压电系数， l_1 、 d_1 和 V_1 分别为压电晶体应变方向的长度、电场方向的厚度和晶体上所加的电压。

电光晶体的电光效应所引起的光程变化为^[7]

$$\Delta_2 = -n^3\gamma_{ij}l_2V_2/d_2 \quad (2)$$

式中 γ_{ij} 为电光晶体的电光系数， n 为 $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ 时该晶体的折射率， l_2 、 d_2 和 V_2 分别为该晶体通光方向的长度、电场方向的厚度和晶体上所加的电压。

当压电晶体的逆压电效应所引起的光程变化，完全补偿电光晶体的电光效应所引起的光程变化时，有 $\Delta_1 = -\Delta_2$ 的关系，从而可以得到电光晶体的电光系数和压电晶体的压电系数的关系

$$\gamma_{ij} = \frac{2}{n^3} \left(\frac{l_1}{l_2} \right) \left(\frac{d_2}{d_1} \right) \left(\frac{V_1}{V_2} \right) d_{ij} \quad (3)$$

我们采用的压电晶体是石英和 ADP 晶体。这种方法的关键是获得稳定、可靠的干涉信号。为了防止机械振动的影响，我们将图 1 中所示的光学元件全部固定在大理石板上，大理石板置于工作台上的高阻尼防震气垫上。整套光学系数屏蔽起来，与外界空气隔绝，以减小空气对流对干涉信号的干扰。此外，在满足测量需要的情况下，干涉仪分光后的光路应尽量缩短。

我们选用的 He-Ne 激光器是单模的，内偏式的，其功率不稳定性长时间（几小时）小于 5%，短时间（几分钟到几十分钟）优于 3%。实验证明，多模激光管的光强分布随时间而变化，不能用于这种测量装置上。

三、实验和结果

锁定放大器的输出信号

$$V \propto V_1 V_2 \cos \alpha, \quad (4)$$

式中 V_1 和 V_2 分别为锁定放大器输入信号和参考信号的幅度。 α 为两者之间的相位差。

测量前,先调整锁定放大器参考信号的相位,使其与晶体电光效应所引起的光信号的相位差为正 90° (锁定放大器输出信号为 0),再调整压电晶体上所加电压的相位,使其逆压电效应所引起的光信号与锁定放大器的参考信号的相位差为负 90° (锁定放大器输出信号为 0)。再改变锁定放大器参考信号的相位,使其增加或减小 90° 。这样锁定放大器对两种信号的放大量均为最大,但输出电压的极性相反,这样就保证了两者互相补偿的目的。

我们在温度为 11°C 、电场频率为 1kHz 的情况下,在晶体上加 $10\sim 100\text{V}$ 电压,测量了 DKDP, KDP, ADP 和 LiNbO_3 晶体的部分电光系数。为了验证实验装置的可靠性,在同样的温度条件下,用半波电压法^[7]测量了同一样品的电光系数,见表 1。

Table 1 The electro-optic coefficients of crystals measured by interferometric method and half-voltage method (10^{-12}m/V) ($\lambda=6328\text{\AA}$)

method of measurement	electro-optic coefficients of crystals			
	γ_{63} (DKDP)	γ_{63} (KDP)	γ_{63} (ADP)	γ_{22} (LiNbO_3)
interferometric method	29.4	10.5	8.4	6.4
half-voltage method	30.1	10.2	8.5	6.5

表中所列的结果是多次测量后取平均的结果,两种方法测量的结果基本相同,最大偏差不超过 4%。

由于采用了零点补偿,即两信号完全补偿时,锁定放大器的输出为零,测量过程中干涉信号的轻微变化对测量结果的影响并不大。

四、讨 论

从(3)式可以看出,影响测量精度的因素有标准样品的定标、晶体的尺寸因子和晶体上所加电压的测量精度。这些数据都要求在三有效数字以上。除了上面谈到的防振措施要可靠外,锁定放大器抑制噪声干扰的能力要强,电压信号频率的选择要远离电源电压的频率和其它可能的噪声频率。

这种装置将参考样品由电光晶体改为压电晶体,可缩短光路、增大光信号的强度,减少机械振动和样品表面反射所形成的法布罗干涉信号对测量结果的影响。以前的测量装置以电光晶体 DKDP 作为参考样品,其电光系数随温度的变化较大,据我们多年的测量结果统计,温度每变化一度,其半波电压变化 50V 左右,这给定标无疑带来一定的困难。用压电晶体,特别是石英晶体作为参考样品,其压电系数随温度的变化很小。测量不受环境温度的限制。

上面的装置,如果在压电晶体上加直流电压,使其产生正应变。由于两束光的光程差发生了变化,宏观看上去,干涉条纹就向某一方向移动。再在电光晶体上加直流电压,比较两种晶体加电压时条纹移动的方向,可确定晶体电光系数的相对符号。我们用此方法确定了

KTP 晶体 γ_{33} 和 γ_{23} 的相对符号, 纠正了文献 [3] 中报道的错误。

如果以某种电光晶体作为参考样品, 这种装置有可能用来测量晶体的压电系数。

参 考 文 献

- [1] J. D. Zook *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1967, **11**, No. 5 (Sep), 159~161.
- [2] Y. Fujii *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1970, **41**, No. 5 (Sep), 4118~4120.
- [3] K. Onuki *et al.*; *J. Opt. Soc. Am.*, 1972, **62**, No. 9 (Sep), 1030~1032.
- [4] N. Uchida *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1972, **43**, No. 12(Dec).
- [5] G. A. Massey *et al.*; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, No. 24(Dec), 4136~4137.
- [6] J. D. Birrerlein *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1986, **49**, No. 15 (Oct), 917~919.
- [7] 蒋民华;《晶体物理》, (山东科学技术出版社, 济南, 1980), 142, 349, 364.

Improvement of experimental setup of interferometric method for measuring electro-optic coefficients of crystals

YIN XIN

(*Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan*)

(Received 20 June 1989; revised 4 October 1988)

Abstract

A simple, quick, and highly sensitive method for measuring the electro-optic coefficients of crystals has been suggested. This method is based on compensating the change of optical path due to the electro-optic effects of crystals with that due to the anti-piezoelectric effect of a piezoelectric crystal on a Twyman interferometer.

Key words: interferometric method; electro-optic coefficients.