

利用调制式椭偏仪测量薄膜电光系数

李芳^{1,2}, 王杰², 王丹阳², 莫党¹, 陈王丽华²

(1. 中山大学物理系光电材料与技术国家重点实验室, 广东广州 510275; 2. 香港理工大学应用物理系, 香港)

摘要:利用调制式的椭偏仪测量了掺镧锆钛酸铅 PLZT 薄膜的电光系数. 首先用反射椭偏测量的方法得到薄膜的折射率(n)和厚度(d), 然后利用透射椭偏在线测量的功能, 在样品上加电场(E), 得到薄膜的折射率的改变 δn . 最后用测量得到的厚度, 折射率以及折射率的改变来计算薄膜的电光系数. 该仪器的灵敏度很高, 很适合较薄的膜层材料电光性质的测量.

关键词:电光系数; 椭偏仪; PLZT 薄膜; 光学性质

中图分类号: O4 **文献标识码:** A

MEASUREMENT OF THE ELECTRIC-OPTIC INDEX OF THIN FILMS BY USING MODULATED ELLIPSOMETRY

LI Fang^{1,2}, WANG Jie², WANG Dan-Yang², MO Dang¹, CHEN Wang-Li-Hua²

(1. Department of Physics and State Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Technologies, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China;

2. Department of Applied Physics, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong China)

Abstract: The electro-optic index of PLZT thin films was measured by means of modulated ellipsometry. First the refractive index (n) and thickness (d) were measured by reflecting ellipsometry method. Then the electric field was applied on the film, and the change of refraction (δn) by was obtained by transmission ellipsometry method. Finally, the electro-optic index was calculated by the data of n , d , E and δn . This instrument has high sensitivity. So it is suitable to measure the electro-optical property of the thin film.

Key words: electro-optic index; ellipsometer; PLZT thin films; optical properties

引言

测量电光系数的方法一般采用 M-Z 干涉法^[1], F-P 腔法^[2], 波导法^[3]和衰减全反射 (ART)^[4], 还有椭偏的方法^[5,6]. 其中椭偏的方法可以是透射和反射两种方法, 用透射的方法一般测量的是体材料和较厚的薄膜^[5]. 本文工作发展了用椭偏方法测量电光系数, 即是用高灵敏度的调制式椭偏仪测量较薄的膜层的电光系数. 与以前用透射式的方法测量薄膜材料的电光系数相比^[5], 用该仪器能够测量得到计算电光系数用的薄膜折射率, 薄膜厚度以及折射率的改变, 而不需要再用其它的仪器去测量其厚度和折射率. 以前文献报导所用的薄膜相对而言比较厚一些, 如果待测的薄膜很薄, 相对的信号就会弱

了许多, 需要灵敏度很高的仪器才可以测得信号, 而采用调制式的椭偏仪(有高灵敏度)就可以同时满足这些条件. 文献[6]中做过的是横向加电场于薄膜上, 我们测量的时候加的电场的方向是垂直于入射光方向的纵向电场方向, 这样使得计算起来简便了许多.

椭偏仪是经常用来测量薄膜的光学常数的仪器, 而本文主要是利用椭偏仪来测量薄膜的电光系数. 首先就是利用椭偏仪反射测量的状态得到薄膜的折射率(n)和薄膜的厚度(d). 然后利用其在线测量的功能, 用透射的状态测量薄膜在加了电场之后折射率的改变 δn , 最后通过对 $n, d, \delta n$ 的计算得到材料的电光系数.

实验中采用的样品是掺镧锆钛酸铅 (PLZT) 铁

电薄膜,由于其有较强的电光效应,在电光器件的应用上有很好的前景.

1 测量原理

我们要得到薄膜的电光系数,就需要知道材料的折射率和厚度,还有就是在加了电场后折射率的改变.本实验所用的仪器是调制式的椭偏仪(Jobin-Yvon UVISEL 型),首先用反射的方法测量薄膜的折射率和厚度.其入射角为 70° ,反射装置如图 1 所示.椭偏仪就是利用入射偏振光在经过薄膜反射后,其 S 分量和 P 分量的振幅以及相位发生变化,得到椭偏参数 Δ 和 ψ ,其中 ψ 是相对振幅衰减, Δ 是相位移动之差,用该仪器测量得出 I_s 和 I_c 随波长 λ 的关系,这里 I_s 和 I_c 为光强的傅立叶分量.通过反演拟合计算,得到 PLZT 薄膜在波长为 633nm 的折射率是 2.4 和厚度 450nm.

然后把入射角改变成 90° ,相当于透射装置如图 2 所示,设置其波长在 633nm,把 PLZT 薄膜置于透明的衬底上,选择在线测量的功能,测量得出薄膜的 I_s 和 I_c 在加了电场后的改变.光波分别通过 P(起

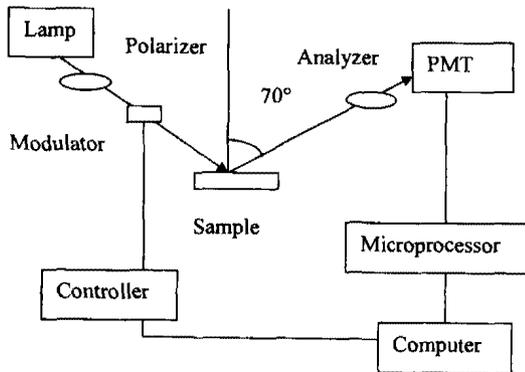


图 1 调制式椭偏仪的反射装置,入射角为 70°
Fig. 1 Reflecting setting of modulated ellipsometry at angle of incidence 70°

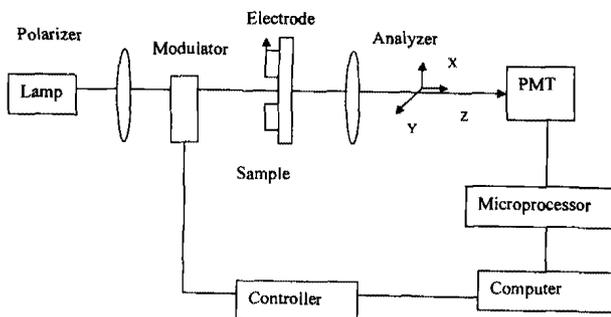


图 2 调制式椭偏仪的透射装置
Fig. 2 Transmission setting of modulated ellipsometry

偏器), M(调制器), S(样品), A(检偏器),光波的方向设为 Z 轴.所加电场的方向垂直于光波的方向,这方向也是光轴的方向设为 X 轴.当光波垂直入射的时候不存在入射面,也就不存在平时所用的 S 和 P 波,所以我们将光的横向电场矢量分解为平行于光轴 X 方向和垂直于光轴 Y 方向的两个分量.以 X 轴坐标为参考系,偏振器和调制器的方位角是这样规定的:正对光束看,由 X 轴算起,沿反时针方向,设定了 $M=0^\circ$ 、 $P=45^\circ$ 和 $A=45^\circ$.通过 P, M, S, A 后,到达光电接收器的光波强度可以表示成:

$$I = I_0(1 + \cos\Delta\cos\delta - \sin\Delta\sin\delta) \quad (1)$$

这里 δ 为调制器所加调制讯号的周期函数, Δ 为:

$$\Delta = \Delta_x - \Delta_y \quad (2)$$

Δ_x 和 Δ_y 分别是经过样品后 x 和 y 方向的光波分量的相位变化,

$$\Delta_x = \frac{2\pi}{\lambda}dn_x, \quad \Delta_y = \frac{2\pi}{\lambda}dn_y \quad (3)$$

其中 d 为样品的厚度. I 的 Fourier 分析的系数 I_s 与 I_c 分别为:

$$I_s = -\sin\Delta, \quad I_c = \cos\Delta \quad (4)$$

若 Δ 为小量,可以级数展开为

$$I_s = -\Delta, \quad I_c = 1 - \frac{\Delta^2}{2} \quad (5)$$

我们测量的时候 I_s 在 0 附近,这时候 I_s 的变化最为明显,也是最敏感.而 I_c 的变化基本趋进于 1,变化很小,可以忽略.样品上不加电场时的折射率 $n_{0x} = n_{0y}$,加电场时

$$n_x = n_{0x} + \delta n_x, \quad n_y = n_{0y} + \delta n_y \quad (6)$$

$$\Delta = \frac{2\pi}{\lambda}d(\delta n_x - \delta n_y) = \frac{2\pi}{\lambda}d(\delta n) \quad (7)$$

用 UVISEL 型调制式椭偏仪测量,直接可得出 I_s 和 I_c ,然后通过式(5),式(7)计算得到薄膜 X 和 Y 方向折射率改变之差 δn .

2 结果与讨论

我们利用椭偏仪测量了 PLZT(9/65/35)的电光系数,它的制备另文发表.样品结构为石英玻璃/SrTiO₃/PLZT/Au IDE, Au IDE 是金的叉丝电极,其间距为 20 μ m.光源为氙灯,波段是从 350~850nm.首先是反射椭偏谱,通过反演拟合和计算得到 PLZT 薄膜在波长为 633nm 的折射率是 2.4 和厚度 450nm.

然后为了便于与其它方法的比较,我们选用的

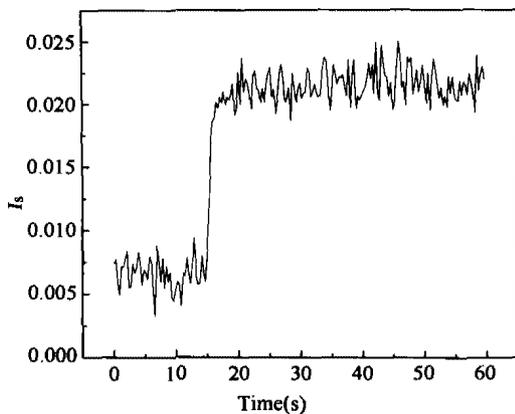


图3 透射测量得到的 PLZT 薄膜样品的 I_s 值,在 15 秒后加了电场 100V

Fig. 3 The I_s value of PLZT thin film measured by transmission ellipsometry. 15 seconds later the electric field of 100 volts was applied on the film

波长 633nm 做透射测量部分,直流电压从 0V 加到 100V,然后再降到 0V,每隔 10V 得到一组数据.图 3 即是 PLZT 薄膜在电压是 100V 时得到 I_s 的值,可知当没有加电场的时候 I_s 基本上是 0.005,说明没加电场的时候只有很小的双折射的效果,当在 PLZT 薄膜上加了电场后,薄膜的 I_s 迅速的改变为 0.02,多了一个数量级,电场对折射率的影响很大.我们通过式(5)和式(7),可以得到在加了 100V 电压时,它的 $\delta n = 5.5 \times 10^{-3}$. 而 I_s 根据公式(4)可知基本没有变,我们测量得到是接近于 1. 同理得出在其它电压下的 δn 值. 从计算得出的一系列 δn 和所加的电压的关系可以知道其符合了克尔效应. 最后把测量得到的 n , d , δn 代入电光效应的计算公式

$$R = 2 \delta n / n^3 E^2 \quad (8)$$

得出其有效电光系数 $R_{\text{eff}} = 1.6 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{V}^2$. 一般测量电光系数用的光源都是激光. 我们采用氩

灯光源,对于测量比较薄的材料很适用. 如果薄膜在所测量的波段是有吸收的,则计算将会复杂.

另外其在线测量可以根据材料的具体情况选择测量的间隔和所需测量的点数,因为 PLZT 材料的加了电场后迟豫的时间很短,而且很快的就稳定了,我们测量每个电压下所用的时间为 1 分钟. 对于有些聚合物的薄膜,加了电场后迟豫的时间较长,需要一段时间才可以稳定,这时需选择较长的测量间隔.

3 结语

本文研究了利用调制式椭偏仪来测量薄膜的电光系数. 采用反射方法测量薄膜的厚度与折射率,然后用其透射方法测量薄膜在加了电场后的折射率的改变. 最后计算得出薄膜的电光系数. 对于透明性较好的较薄的薄膜该方法比较适用.

REFERENCES

- [1] Singer K D, Kuzycyk M G, Holland W R, et al. Electro-optic phase modulation and optical second harmonic generation in corona-poled polymer films [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1988, **53**(19):1800—1802.
- [2] Kobayashi T. Nonlinear optics of organics and semiconductors[J]. *Spinger Proceedings in Physics*, 1989, **36**:140—142.
- [3] Horsthius W H G, Krijnen G J M. Simple measuring method for electro-optic coefficients in poled polymer waveguides [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **55**:616—618.
- [4] Dentan V, Levy Y, Dumont M, et al. Electro-optic properties of a ferroelectric polymer studied by attenuated total reflection[J]. *Opt. Commun.*, 1989, **69**:379—381.
- [5] Adachi H, Kawaguchi T, Setsune K, et al. Electro-optic effects of (Pb,La)(Zr,Ti)O₃ thin films prepared by rf planar magnetron sputtering [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1983, **42**(10): 867—869.
- [6] Ma C B, Xu D, Ren Q, et al. Simple transmission technique for measuring the electro-optic coefficients of poled polymer films[J]. *J. Mat. Sci. Lett.*, 2003, **22**:49—51.