

测量单轴晶体光学不均匀性和生长层的 一种简便方法*

黄春福¹⁾ 刘思敏¹⁾ 张光寅¹⁾ 郭 儒¹⁾ 汪大云¹⁾ 高垣梅¹⁾ 陆 猗²⁾ 杨立森³⁾

¹⁾ 南开大学物理学院, 天津 300071)

²⁾ 天津理工大学自动化系, 天津 300071)

³⁾ 内蒙古师范大学物理系, 呼和浩特 010022)

(2002 年 8 月 21 日收到, 2002 年 10 月 14 日收到修改稿)

报道一种测量 $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ 单轴晶体光学不均匀性及其生长层的简便方法, 由 $o-e$ 光点间的距离随入射光束在晶体中位置的变化可以计算出晶体不同位置的 Δn_e 的变化, 而且可以测得晶体的不均匀性并确定出生长层的位置及其厚度.

关键词: 不均匀性, 生长层, 折射率

PACC: 7820D, 7820F, 4262E

1. 引 言

LiNbO_3 晶体是目前应用很普遍的压电、铁电和电光晶体. 它具有优良的电光和压电特性, 它可在高温下工作, 不会退极化, 不溶于水, 化学性能稳定, 声学传输损耗低, 是优良的传声介质和高频换能器材料. 早在 1965 年, 已经生长出它的高质量大单晶材料, 因而它已被广泛应用于制作电光器件、微声器件、激光倍频器、光参量振荡器、光波导器件等.

LiNbO_3 晶体是用提拉法从熔体中生长的. 相图中固液同成分点是在 Li_2O 的克分子数为 48.6 处, 而不是在 50 处. 经验表明, 严格按照理想配比 ($\text{Li}_2\text{O}:\text{Nb}_2\text{O}_5 \approx 50:50$) 来配料的熔体生长的晶体质量不好, 因为这样的配比会使提拉晶体过程中液相的含 Nb 量逐渐增加, 影响整个晶体物理性能的均匀性. 因此高质量的 LiNbO_3 单晶一般是由固液同成分点的熔体拉制出来的. 但是目前由于光学信息处理和倍频及光参量器件对准相位匹配周期性极化晶体的需要, 要求生长理想配比的 LiNbO_3 晶体的呼声越来越高. 为此, 对于这种晶体的光学均匀性必须有正确而简便的检测方法, 才能满足晶体生长和相应器件

制作的要求.

本文报道一种测量单轴晶体光学不均匀性和生长层的简便方法. 来自低功率(约 1mW)的 He-Ne 激光器的一束平面偏振激光, 其偏振方向与单轴晶体 LiNbO_3 的光轴 c 轴方向成 45° 角, 它入射到晶体的 yz (或 xz) 平面上, 在反射或透射方向的远场屏上可以观察到 o 光与 e 光的两个分离的光点, 在生长层附近还可以观察到 e 光光点分离为两个以上的光点. 这是因为在这种晶体的拉制过程中, 组分会随 c 轴而变. o 光的折射率轻微地依赖于组分, 而 e 光的折射率明显地依赖于组分的变化^[1,2], 因而当光束沿 x 或 y 轴通过晶体时会造成 o 光与 e 光束的分离. 在生长层处, 晶体组分剧变, e 光会分成多束. 这样, 当入射激光光束沿晶体的 x 或 y 方向以及 z 方向扫描时, 便可以测得晶体中不同位置处反射或透射的 $o-e$ 光点以及 $o-e_1-e_2(-e_3)$ 光点的分离距离. 由 $o-e$ 光点间的距离随入射光束在晶体中位置的变化可以计算出晶体不同位置的 o 光与 e 光的不均匀性 Δn_e 的变化 (Δn_o 的变化可以忽略); 由 $e_1-e_2(-e_3)$ 光点与 o 光光点间距随入射光束在晶体中位置的变化可以确定出生长层的位置、厚度及 Δn_e 的数值.

* 国家自然科学基金(批准号 60078013 和 60278006)资助的课题.

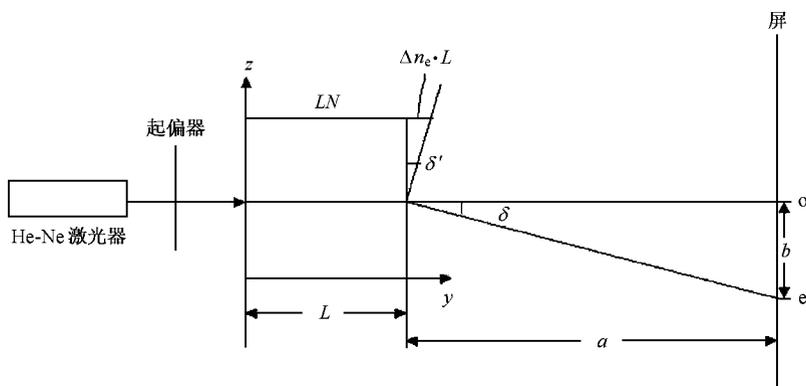


图1 实验装置及测量原理图

2. 实验原理及结果

实验装置如图1所示.在图1中, L 为晶体通光方向长度, δ' 为晶体中 o 光与折射率发生变化的 e 光之间的偏向角, δ 为 o 光与 e 光在空气中的夹角, a 为晶体出射面与屏之间的距离, b 为屏上 o — e 两光点的间距.

设入射激光束上下边缘处 A 、 B 两点的折射率分别为 $n_A = n_e - \Delta n_e$, $n_B = n_e$,因为 A 点的折射率低于 B 点的折射率,所以 A 点处光传播速度快于 B 点处,由于入射光的偏振方向与晶体 c 轴成 45° 角,因而在晶体中的入射光同时存在着 o 光与 e 光两种成分.因为 o 光与 e 光具有不同的折射率,因而具有不同的速度.如果晶体是均匀的, o 光与 e 光的波阵面仍然是平行的,只是波阵面的传播速度不同而已,因而 o 光与 e 光的透射光点应当是重合的.但是当晶体不均匀,或出现生长层时,在入射光斑辐照区内, o 光的折射率变化不大,所以波阵面仍然垂直于入射光的波矢方向;但是由于 e 光的折射率随组分变化明显,所以在辐照区内各点的 e 光的折射率不再相等,即 e 光的波阵面相对于 o 光的波阵面会发生倾斜,故 o 光与 e 光出射光点的位置不再重合.如果在生长层内, e 光折射率的变化是不连续的,则 e 光的透射光点还会分离为两个以上.当 e 光通过晶体后波阵面发生倾斜时,它与 o 光波阵面的夹角为 δ' ,所以

$$\delta' = \text{tg}^{-1} \frac{\Delta n_e \cdot L}{d}, \quad (1)$$

d 为入射光束直径.折射定律为

$$n_e \cdot \sin \delta' = \sin \delta, \quad (2)$$

当 δ' 与 δ 很小时,

$$\sin \delta' \approx \text{tg} \delta', \quad \delta \approx \delta' \cdot n_e = \text{tg}^{-1} \frac{b}{a},$$

所以

$$\Delta n_e = \frac{b \cdot d}{a \cdot L \cdot n_e}. \quad (3)$$

本实验使用的样品为1[#]样品:组分为47.5mol% Li_2O (尺寸为14.0mm × 15.0mm × 15.7mm)和2[#]样品组分为48.6mol% Li_2O (尺寸为9.0mm × 18mm × 19mm),为同成分 LiNbO_3 晶体.我们用干涉仪测得样品每个平面的平面度小于 $\lambda/2$ (对于632.8nm),每对平面的平行度小于1'.我们首先以 xz 为入射面进行了测量.1[#]样品的 o — e 光点分离距离随入射光点位置(沿 z 方向扫描)的变化曲线如图2(a)所示,测得了三个生长层(图中标为1,2,3)其厚度约为1mm.图2(b)为由图2(a)测得的数据通过(3)式计算得到的 Δn_e 随 z 轴的变化曲线.在生长层1(A 与 B)和生长层2(C 与 D)附近,测得 o — e 的分离距离随入射光点位置(沿 x 方向扫描)的变化曲线,如图3所示.由图3的4组曲线和数据可以看出,对于在同一生长层附近,两次测量结果重复性较好,表明此变化确实反映了在 x 方向晶体的均匀性较好,生长层主要出现在 z 轴方向.对同成分的2[#]样品, o — e 光点分离距离随入射光点位置(沿 z 方向扫描)的变化曲线如图4所示,可见同成分晶体的均匀性明显好于47.5mol% Li_2O 组分的晶体.但在图4中仍有小于0.8mm的分离距离,这是由于晶体的平行度及不均匀性共同引起的;我们以平行度为1'计算, o 光与 e 光在屏上的分离距离为0.25mm,则还有0.55mm的偏离距离是由于晶体的不均匀性引起的,由(3)式计算由于0.55mm引起的折射率变化

为 2.5×10^{-6} ,可见 2# 样品的均匀性是较好的.

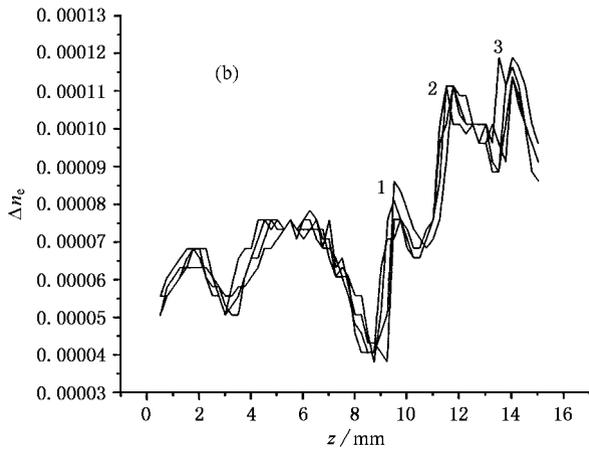
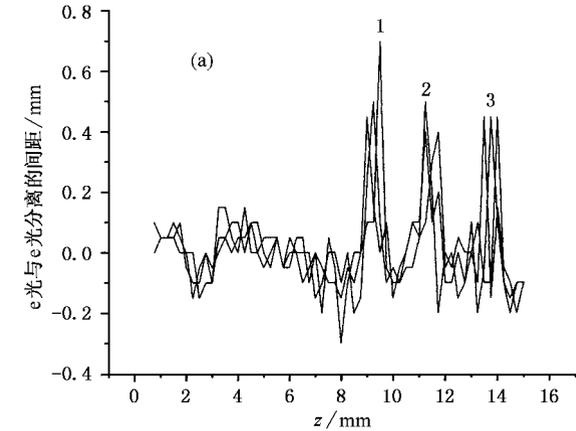


图2 (a) 1# 样品沿 z 轴方向扫描在屏上测得的 e₁ 与 e₂ 光点的间距随 z 轴的变化曲线 (b) 1# 样品沿 z 轴方向扫描由图 2(a) 测得的数据计算得到的 Δn_e 随 z 轴的变化曲线

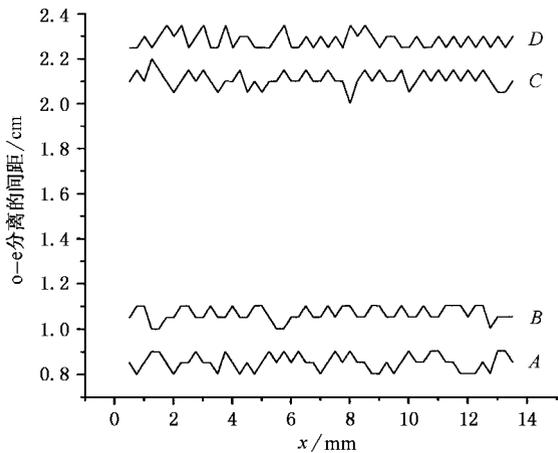


图3 1# 样品在生长层附近 o-e 光点分离距离沿 x 方向的变化曲线

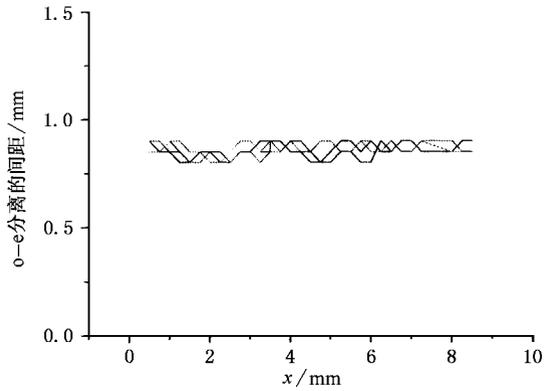


图4 2# 样品(沿 z 轴方向扫描) o-e 光点分离距离沿 x 方向的变化曲线

我们还测量了组分为 49.5mol% Li₂O 的纯 LiNbO₃ 晶体,测量结果与 1# 样品类似.

3. 讨 论

当生长层密集时,应考虑入射光斑尺寸由于衍射在晶体出射面处会增大.如图 5 所示,令 D 为入射激光光束直径,D' 为经过衍射后在出射面处的直径,S 为生长层间隔,则有

$$D' = D + 2L \frac{1.22\lambda}{nD}, \quad (4)$$

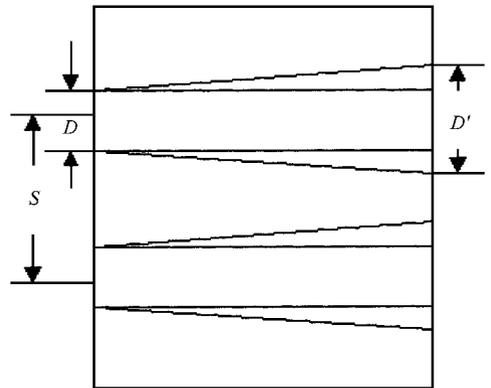


图5 当生长层密集时,对入射光斑尺寸的限制

当 $D' \leq 2 \cdot S$ 时,便可以测量,则有

$$S_{\min} = \frac{1}{2} D + L \frac{1.22\lambda}{nD}. \quad (5)$$

由(5)式可推得 S 有最小值, $S_{\min} = 0.1\text{mm}$. 当 $S < S_{\min}$ 时,用上述方法不能测量.当 $S \geq S_{\min}$ 时,可由(5)式求得相应的入射光斑尺寸 D,则出射面处衍射光斑不会覆盖相邻的生长层,因而可以用上述方法

测量.

在本实验条件下,入射激光束直径 $d = 1.5\text{mm}$, $L = 15\text{mm}$, $a = 1 \times 10^4\text{mm}$, 取 $b = 16\text{mm}$ (典型值), 已知 $\lambda = 632.8\text{nm}$, LiNbO_3 晶体的异常光折射率 $n_e = 2.200^{[3]}$. 由(3)式求得生长层附近异常光折射率变化的典型值为

$$\Delta n_e = \frac{bd}{aLn_e} = \frac{16 \times 1.5}{1 \times 10^4 \times 15 \times 2.2} \approx 7.27 \times 10^{-5}. \quad (6)$$

若屏上 o—e 两点目测的间距为 1mm , 此方法对 Δn_e

的测量灵敏度可达 5×10^{-6} . 如果采用高灵敏度的接受器, 测量灵敏度还可提高, 可见这是一种既简便又灵敏的方法.

4. 结 论

本文报道一种测量单轴晶体光学不均匀性和生长层的简便方法, 其对 Δn_e 测量灵敏度可达 $5 \times 10^{-6}/\text{mm}$.

- [1] Bergman J G and Smith R G 1968 *Appl. Phys. Lett.* **12** 92
 [2] Carruthers J K *et al* 1971 *J. Appl. Phys.* **42** 1846
 [3] Xu Y H *et al* 1978 *Ferroelectric and Piezoelectric Materials* (Beijing :

Science press) p254 [in Chinese] 许煜寰等 1978 铁电与压电材料(北京 科学出版社 第 254 页]

A simple method for measuring the non-homogeneity and growth layers in uniaxial crystals^{*}

Huang Chun-Fu¹⁾ Liu Si-Min¹⁾ Zhang Guang-Yin¹⁾ Guo Ru¹⁾
 Wang Da-Yun¹⁾ Gao Yuan-Mei¹⁾ Lu Yi²⁾ Yang Li-Sen³⁾

¹⁾(Department of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

²⁾(Department of Automatic Engineering of Tianjin Institute of Technology, Tianjin 300191, China)

³⁾(Department of Physics, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China)

(Received 21 August 2002 ; revised manuscript received 14 October 2002)

Abstract

A simple method for measuring the optical non-homogeneity and growth layers in the $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$ crystal is reported. We can compute the change of refractive index Δn_e at different positions in the crystal according to the distance between e—o light-spots, which vary with the change of the position of incident light-spot in crystal. Furthermore we can obtain the non-homogeneity and determine the position and thickness of the growth layers in the crystal.

Keywords : growth layer, non-homogeneity, refractive index change

PACC : 7820D, 7820F, 4262E

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 60078013 and 60278006).