

快报

LiNbO_3 晶体在室温— 130°C 的 锥光干涉及折射率的异常

许自然 沈惠敏 王 咸 王业宁

(南京大学固体物理研究所)

1984年2月20日收到

提 要

研究了纯及掺杂 LiNbO_3 (下简称为 LN) 晶体 z 向通光的锥光干涉图. 纯 LN, 在 45°C 和 75°C 附近, 双折射率均有异常变化, 晶体由单轴变为双轴晶. 掺杂 (Fe, Cr, Cu) LN 也有类似的变化, 但变化的温度范围被加宽. 分别测量了折射率 n_o 和 n_e , 在这两个温度附近有异常跳变. 通过与 x 方向加电场的室温锥光图相比较, 可以认为在 75°C 附近的双折射异常变化是相当于离子位移在 x 方向产生 10^3V/m 量级的内电场所引起的.

引 言

LN 是一种多用途材料, 在激光技术及声表面器件中已有广泛应用. 在使用和研究中, 发现 LN 在 75°C 附近有异常变化已有多篇文献报道^[1-5]. 近年 Semenchenko^[6] 测量了含 Fe0.1at% 和含 Ni0.5at% 的 LN 的折射率 n_o 和 n_e , 发现 80°C 以上出现异常, 因为在纯 LN 中未见此现象, 因此他认为是杂质引起的相变. 根据我们以前的工作^[3], 纯 LN 中也应有此异常现象.

本文报道了用锥光干涉法及最小偏向角法同时研究纯 (含 $\text{Fe} < 5 \times 10^{-4}\text{at}\%$, $\text{Ni} < 1 \times 10^{-3}\text{at}\%$) 和掺杂 LN 的光折射结果. 不仅 75°C 附近, 而且在 45°C 附近, 折射率 n_o 和 n_e 及双折射率都有异常变化, 且有热滞后效应. 45°C 附近的异常变化, 即使降到室温也不能立即复原, 这将影响器件的性能及加工工艺, 因此对这一温度范围的异常性能值得进一步探讨.

实 验 与 结 果

1. 锥光干涉

把 z 向抛光的 LN 晶体置于正交偏光显微镜的热台中, 可观察到不同温度下的锥光干涉图, 如图1(见图版 I—II)所示. 室温下的锥光图 1(a) 与晶台转动无关, 为典型的单轴晶锥光图. 随温度升高, 晶体由单轴晶变为双轴晶(图 1(b))再变回单轴晶(图 1(c))又变为双轴晶体(图 1(d)). 在 77°C 以上, 晶体又变为单轴晶(图 1(f)). 在 $75^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 范围,

如果把晶台旋转 45° , 则图 1(d) 中的椭圆(等位相差)干涉环会随之转动, 而消光线由双曲线变为黑十字线(图 1(e)). 这十分类似于 LN 晶体 x 方向加电场的电光效应. 图 1(j) 是该块晶体在室温时, 沿 x 方向加 $3 \times 10^5 \text{V/m}$ 电场时的锥光图, 和图 1(d) 相比, 基本一致. 晶台转过 45° 的图 1(k) 也类似于图 1(e). 图 1(g)–(i), 可以观察到热滞后现象. 掺杂 (Fe, Cu, Cr) LN 也经历类似的过程, 不同的是双轴现象存在的温度范围加宽(三个掺杂样品分别含 Fe 0.5at%, 呈深红色, 含 Cu $3 \times 10^{-2}\text{at}\%$, 呈橘红色, 含 Cr $4 \times 10^{-3}\text{at}\%$, 呈淡绿色, 而本文用的纯 LN 为无色透明晶体).

2. 折射率

LN 晶体切割成 20° 的稜镜, 为避免各向异性所引起的热膨胀对稜镜角的影响, 稜镜

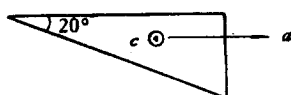


图 2 LN 稜镜方位图

取向如图 2 所示. 稜镜的两个面(b 面和斜面)经抛光后置于特制的电炉中, 在分光计上利用最小偏向角法测量纯和掺杂 (Fe, Cr, Cu) LN 的折射率. 光源采用绿灯的谱线 ($5461 \text{\AA}$). 掺杂 LN, 升温到 45°C 附近和 75°C 附近, 都可观察到谱线加宽并变模糊, 而在 75°C 以上, 谱线又变得清晰. 折射率随温度变化除 n_e 的温度系数大于 n_o 的温度系数以外, n_o 和 n_e 都在 75°C 附近有一跳变, 图 3 是掺 Fe LN 的结果, 这和 Semenchenko 等人^[6]

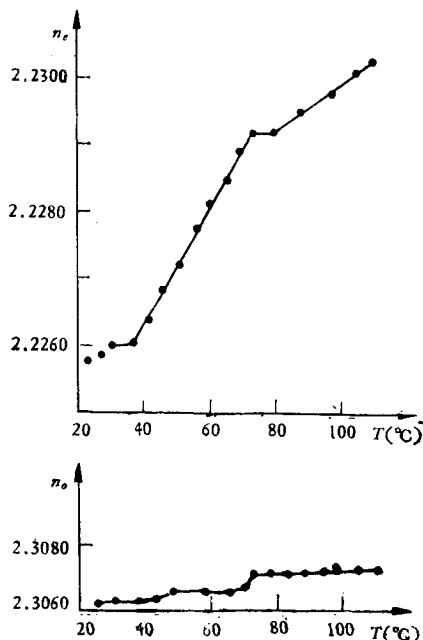


图 3 掺铁 LN 晶体的 n_o 和 n_e 随温度 T 变化的曲线
 $\lambda = 5461 \text{\AA}$

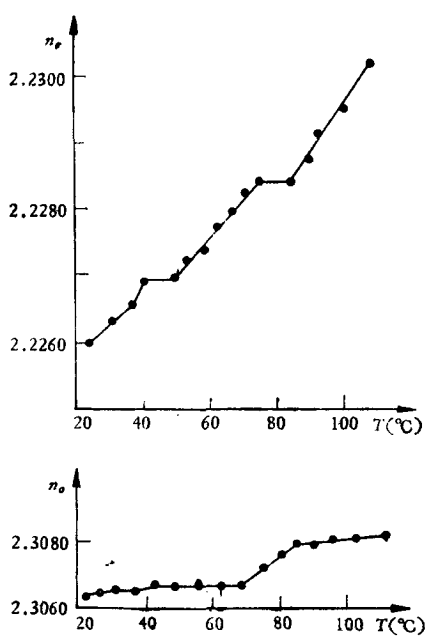


图 4 纯 LN 晶体的 n_o 和 n_e 随温度 T 变化的曲线
 $\lambda = 5461 \text{\AA}$

的结果(含 Fe0.1at%)相一致,但他们在纯 LN 中未见到此现象,而我们在纯 LN 中看到同样的跳变,如图 4 所示.此外,在图 3 和图 4 上,还可看到 n_o 和 n_e 在 45℃ 附近也有反常变化.掺 Cu 和掺 Cr 的 LN 晶体也有同样的变化(图略).

讨 论

1. Semenchenko 等人在掺杂 LN 中观察到的谱线加宽和分裂以及 n_o 和 n_e 的跳变现象类似于石英的 α - β 相变及 SBN 晶体相变时的现象^[6],而在纯 LN 中未观察到这一现象,故他们认为产生这些异常现象是杂质感生相变所致.而我们不仅在掺杂 LN 中,而且在纯 LN 中都观察到这些异常变化的现象,所以我们认为这一现象可能是 LN 晶体本身的相变所引起的,杂质仅起影响的作用.上述的石英 α - β 相变及 SBN 晶体的相变均为

一级相变,观察到的谱线加宽和变模糊可能是两相共存的反映.

2. 从锥光图分析,可以发现 LN 在 75℃ 附近的行为类似于 LN 在 x 方向加电场的电光效应.偏振面的旋转亦为偏光干涉强度扫描曲线所证实(如图 5 所示).当入射光偏振面旋转 45° 时,偏光干涉强度大为减弱,这是由于偏光强度公式 $I = I_0 \sin^2 2\alpha \sin^2 T/2$ 中, α 趋近于 0 的缘故.另外,从图 1(d) 的双光轴露头点可计算出 z 向通光时, $\Delta n \approx 1.1 \times 10^{-5}$,而由电光效应计算,当 $E = 3 \times 10^5 \text{ V/m}$ 时, $\Delta n \approx 1.2 \times 10^{-5}$,因此,可以认为 LN 在 75℃ 附近的异常变化可能是由于离子位移,在 x 方向产生 10^5 V/m 量级的内电场所致.

这一位移可能是由于相变中,两相共存区的畸变所造成.在单相区都保持三次对称性,因而 z 方向无双折射效应.

此外,我们从声速测量求得的 c_{11} , c_{66} , c_{33} 在 45℃ 和 75℃ 附近都有一个台阶式跳跃,升温是上升台阶,降温则反之,从而可以获得软模和序参量的信息.另外, X 射线的 Genier-Lénne 照相以及 LN 单晶衍射扫描曲线都在上述两个温度范围发现某些谱线的强度或位置有规律性的反常变化.关于声速及 X 射线衍射的结果将另文报道.

参 考 文 献

- [1] G. E. Peterson, A. A. Ballman, P. V. Lenzo and P. M. Bridenbaugh, *Appl. Phys. Lett.*, **5** (1964), 62.
- [2] K. Г. Бечабаев, В. Т. Габриелян, и В. Х. Саркисов, *Кристаллография*, **18**(1973), 198.
- [3] 许自然、沈惠敏、王业宁,科学通报, **25** (1980), 586.
- [4] 谈云鹏、王业宁,科学通报, **27**(1982), 77.
- [5] 夏元复、许自然、沈惠敏、刘荣川、甘肇强、王业宁,科学通报, **27**(1982), 527.
- [6] W. K. Semenchenko, I. T. Bodnor, V. P. Yarunichev, *Crystal Research and Technology*, **16** (1981), K85.

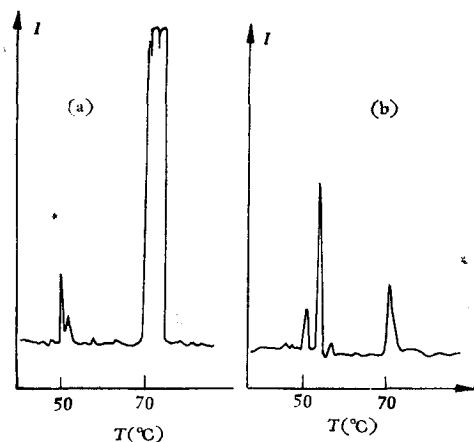


图 5 LN 晶体 z 向通光的正交偏光干涉强度 I 随温度 T 变化的曲线 (a) 起偏方向沿 LN 室温时 x 方向; (b) 起、检偏方向同时绕 z 轴旋转 45°

ANOMALIES OF LiNbO_3 CRYSTAL IN CONOSCOPIC INTERFERENCE PATTERN AND REFRACTIVE INDEX BETWEEN ROOM TEMPERATURE AND 130°C

XU ZI-RAN SHEN HUI-MIN WANG XIAN WANG YE-NING

(Institute of Solid State Physics, Nanjing University)

ABSTRACT

Conoscopic interference pattern in pure and doped LiNbO_3 (LN) has been investigated with the light propagated along z direction. Anomalous change of birefringence is observed at about 45°C as well as 75°C in pure LN. The crystal changes from uniaxial crystal to biaxial crystal near these two temperatures. Similar phenomena also occur in doped LN, but the temperature ranges of the anomalies are widened.

The index of refraction n_o and n_e were both measured. Abrupt changes are also discovered at about 45°C and 75°C.

The behavior of conoscopic interference at 75°C is very similar to that of the electrooptic effect with the electric field being applied along x direction of LN at room temperature. This suggests that the anomalous change at 75°C in LN is caused by internal electric field of about 10^5 V/m resulting from the displacement of ions along x direction in LN.