

由 $1.06\ \mu\text{m}$ 激光引起铌酸锂光折变实验

张 纯 玉 王 延 福
(西南技术物理研究所)

提 要

本文报道由 $1.06\ \mu\text{m}$ YAG:Nd³⁺ 激光引起的 LiNbO₃ 光折变效应。测量了 LiNbO₃ 双折射率变化的空间分布,并用 Twyman-Green 干涉仪进一步证实折射率变化的空间分布是不对称的。此外,还测量了光折变与退火温度和时间相关的曲线。证实了 $\Delta n_e \sim (3\sim 4)\Delta n_o$ 。

一、引 言

从 1966 年 Ashkin 等人^[1]发现 LiNbO₃ 和 LiTaO₃ 铁电晶体中光折变以来,已有不少研究。其目的是弄清机理,克服激光引起光损伤(光折变)^[2,3],以利于作激光倍频、调制与其它非线性光学元件;或是提高晶体光折变灵敏度^[4,5],以利于作全息存储。因此,进展是显著的。

但十多年来,光折变的研究大都集中在可见光波段,因为可见光易引起损伤,实验上容易观察。在长波长光引起光折变方面,D. Vonder Linde 等人^[6]单独用 $2\text{J}/\text{cm}^2$ 的 $1.06\ \mu\text{m}$ 激光辐照 LiNbO₃:Cu²⁺ 晶体,没有测出辐照后晶体的双折射变化。当他们用 $2\text{J}/\text{cm}^2$ 的 $1.06\ \mu\text{m}$ 和 $0.53\ \mu\text{m}$ 光同时辐照晶体时,发现双折射率变化比单独用 $0.53\ \mu\text{m}$ 光时提高 4 倍。并认为是 LiNbO₃ 基质内部的双光子吸收所致。

我们从 1980 年起开展了这一研究,做了一系列实验。证明单独用 $1.06\ \mu\text{m}$ 激光与可见光同样能引起 LiNbO₃ 的折射率变化。在腔内倍频时, LiNbO₃ 受基波和谐波($0.53\ \mu\text{m}$)共同作用往往使倍频元件光损伤,使相位温度匹配条件被破坏、谐波输出功率急剧下降。因此,深入研究光折变机理对应用是有意义的。

二、实 验

1. 样品

众所周知,光折变与晶体含铁量、过渡金属离子关系很密切。在晶体中通过 $\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$ 内转换,并由光作用建立起空间电荷归结于二价铁杂质与三价铁杂质之间电荷重新分布而提高光折变灵敏度。经测量,我们的样品含铁量低于 10 ppm,属于高纯铌酸锂晶体^[7]。

样品是从定轴的 LiNbO₃ 晶锭上截下来的,经研磨、抛光成镜面。其通光面与极轴面偏离 $<30'$, 相对面平行度 $<10''$, 平面度 $<1/4$ 光圈。

2. 测试方法

光学全息法测双折射率或折射率变化灵敏度达 $10^{-7}/\text{cm}$ ，比补偿法高两个量级。但全息法是反映光通过晶体大面积内的平均值，而补偿法却能量度晶体很小区域内双折射率变化。因此，我们采用后面一种方法，装置见图 1。晶体 C 轴与入射光垂直，并与正交的起偏器和检偏器成 45° 角。在测样前，旋转补偿器将低光强的 He-Ne 透射激光调至零位，然后放被测样品于恒温盒内使与入射光垂直，再旋转检偏器读出消光角。通过晶体沿 C 轴 (Z 轴) 位移由 Δn 与相邻消光角的关系求出双折射率变化梯度。在本实验中，使用稳频单模 He-Ne 激光作探针，光束经透镜聚焦在晶体中的直径为 $50\ \mu\text{m}$ ，其强度低于光损伤阈值。

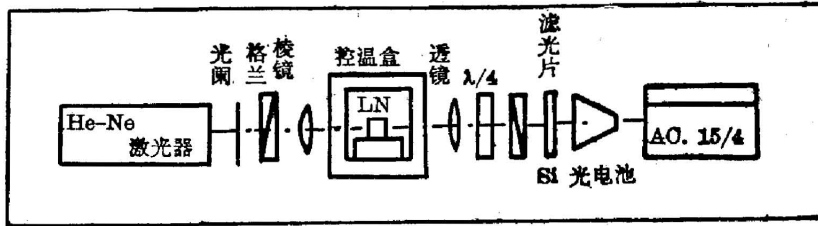


图 1 测量激光引起双折射率变化的实验装置

Fig. 1 Experimental arrangement for measuring laser induced birefringence change

引起样品光折变的激光束为 YAG:Nd³⁺ 1.06 μm 基模高斯型分布，经透镜聚焦在晶体中的焦斑为 150 μm。光功率密度为 76 kW/cm²。

此外，为了结果真实可靠，我们还用 Twyman-Green 干涉仪以单色线偏振光作入射光源，使偏振面分别沿晶体不同主轴来观察 e 光和 o 光的干涉图，作为估证，再次证实晶体小区域的折射率变化状况。这种方法不仅与全息法测大面积平均值不同，而且与正交偏光干涉法只能测 $\Delta(n_e - n_o)$ 的变化也不同，其特点既直观且样品厚薄不论。因此，我们把这两种方法结合在一起，起互为补充的作用。

3. 实验结果与分析

见图 2，7.5 mm 厚的纯同成分单畴 LiNbO₃ 样品，在 1.06 μm 波长，光功率密度 76 kW/cm² 下曝光 10 分钟，再放入恒温盒以 $32.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 控温下顺晶体 a 方向通光，沿晶体 C 轴位移所测的双折射率变化的空间分布。双折射率变化分布的最高点对应于辐照高斯型光强分布的中心。实验曲线呈非对称性，并在聚焦光束的边上双折射率变化反号。在干涉仪上做了 e 光和 o 光观察，进一步证明与测量结果十分吻合。

把多畴 LiNbO₃ 与多畴 LiTaO₃ 作比较，以同一晶锭的多畴 LiNbO₃ 取片，在光功率密度 76 kW/cm² 下曝光 10 分钟，测其双折射率变化的空间分布。随后又将试样摄取 e 光和 o 光干涉图，证明 Δn_e 和 Δn_o 的空间分布均不对称。这与多畴 LiTaO₃ 不同，因为 LiNbO₃ 的

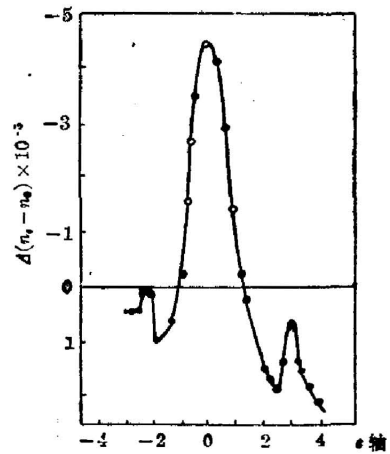


图 2 由光引起单畴 LiNbO₃ 晶体沿 C 轴的双折射率变化(单位用 dmm)
Fig. 2 Optically induced birefringence change along the C axis of a poled LiNbO₃ single crystal of ferroelectric (unit in dmm)

180° 畴达数百微米比 LiTaO_3 $5\mu\text{m}$ 大。在光照区 $\phi \sim 150\mu\text{m}$ 内, 对 LiTaO_3 而言, 存在大量的互为反向畴, 在短畴线界上所密集的漂移电子主要地相应于光强分布。然而, 对 LiNbO_3 来讲, 畴线的长度大都已超过光照区, 天然形成较长的障碍层。这些障碍层导致漂移电子密集, 产生相当大的电偶极矩变化, 与此相关的应变也大, 因此, 长的畴线比短的畴线对导致光折变空间分布呈非对称性更为显著。

图 3 为 $\Delta(n_e - n_o)$ 与退火温度和时间的关系。此图为两个受光损伤的 LiNbO_3 样品, 在不同温度下, 以 15 分钟恒温退火, 随后降至室温所测的 Δn 衰减曲线。在本实验中, 对 1* 和 2* 样品选了 5 个退火温度点即 90° 、 100° 、 110° 、 120° 和 130°C 分别进行 15 分钟退火的两次过程。第一次轮到 130°C 点时, 仍未退完, 又复始一次, 这次至 130°C 点时就完全退去了。从这一过程看出, 关于旧的光折变退火温度概念极不确切, 因为丢去了相关时间因素。可试用热弛豫速率取代它, 较能动态地反映实际过程。

用升温法清洗光折变也含有时间因素。通常在某一温度下, 如时间长可清除; 温度高易清除; 温度越高, 热弛豫时间越短。从退火温度入手解决光折变, 对倍频晶体讲, 须提高相位匹配温度, 同时降低退火温度。退火温度比晶体相位匹配温度要低才好, 越低越有效用。如 $\text{Ba}_2\text{NdNb}_5\text{O}_{15}$ 退火温度为 -20°C ^[10], 而相位匹配温度在 70°C 左右。如此的温差, 从事实上证明在腔内倍频时能承受强的基波功率密度而不引起光折变。这归因于它的热弛豫速率快于损伤速率。又如 1981 年 R. L. Byer^[11] 报道掺适当过量的 1% MgO 和 Li_2O , 并将 LiNbO_3 的相位匹配温度提高到 120°C , 而退火温度降到 110°C 。在我们的实验中, 所生长的高掺镁铌酸锂相位匹配温度在 120°C 而退火温度在 130°C 。虽然晶体退火温度还高于相位匹配温度, 但是相对于同成分 LiNbO_3 在零下 (-8°C) 相位匹配, 和 170°C 以上的光折变退火温度, 已大大地提高了。其相对值近于 170°C 左右。因此, 这样的晶体已大大地缩短了光折变的热弛豫时间。在光学均匀性好的条件下, 从而把谐波功率大大提高了^[11, 12]。

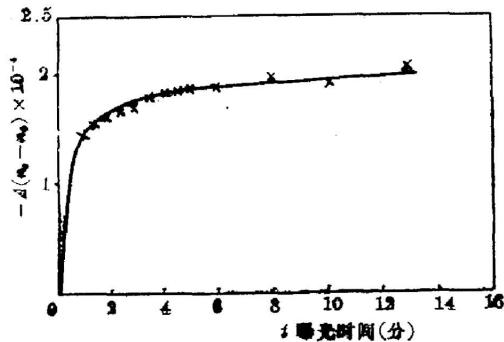


图 4 在辐照功率密度 76 kW/cm^2 下, LiNbO_3 样品的 $\Delta(n_e - n_o)$ 变化当作曝光时间的函数绘的图形

Fig. 4 Change of $\Delta(n_e - n_o)$ in LiNbO_3 sample plotted as a function of the exposure time at power density of 76 kW/cm^2

图 4 为光功率密度在 76 kW/cm^2 下, 铌酸锂的 $\Delta(n_e - n_o)$ 与辐照时间的关系。纯同成分铌酸锂晶体, 其样品的饱和值 $\Delta(n_e - n_o) \approx 1.9 \times 10^{-4}$ 。

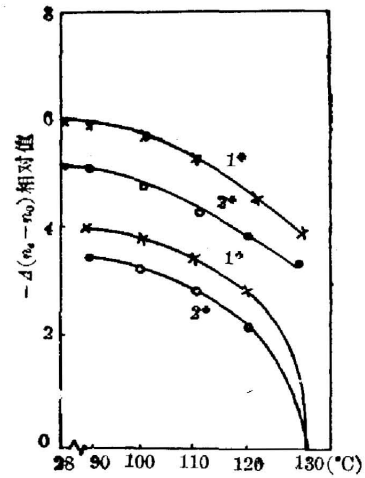


图 3 LiNbO_3 的双折射变化与退火温度和时间的关系 (1* 与 2* 均为两次退火, 每一温度为 15 分钟)
Fig. 3 The relationship between $\Delta(n_e - n_o)$ of LiNbO_3 and annealing temperature and time (No. 1 and No. 2 are annealed twice, annealing time is 15 min at every temperature point)

图 4 为光功率密度在 76 kW/cm^2 下, 铌酸锂的 $\Delta(n_e - n_o)$ 与辐照时间的关系。纯同成分铌酸锂晶体, 其样品的饱和值 $\Delta(n_e - n_o) \approx 1.9 \times 10^{-4}$ 。

图 4 为光功率密度在 76 kW/cm^2 下, 铌酸

我们的实验还证明 $\Delta n_e \sim (3 \sim 4) \Delta n_o$, 意味着光折变中 Δn_e 起主要作用。图 5 是更直观的依据。(a) 图局部的干涉花样为 e 光引起; (b) 图为同一条件下 o 光引起。由条纹可计算出 Δn_e 和 Δn_o 。在损伤前, 样品的光学均匀性是大而稀的干涉条纹(即该图背景干涉)。

用 YAG:Nd³⁺ 激光器输出 25 W 激光, 经 $f=60\text{ mm}$ 聚焦在晶体中, 功率密度在 141 kW/cm^2 下, 较长时间辐照会引起显著的光折变。随后用低光强的准直 He-Ne 激

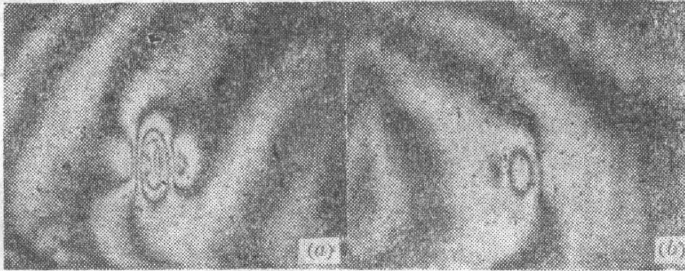


图 5 干涉图样

Fig. 5 The interference patterns.

- (a) 是 e 光的干涉图 (b) 是 o 光的干涉图
(a) is in interference of e ray (b) is interference of o ray



图 6 在光功率密度为 141 kW/cm^2 ($\lambda=1.06\mu\text{m}$) 下辐照 LiNbO₃ 单晶光束沿 C 轴散开图

Fig. 6 Induced scattering of the beam observed along C axis when the sample was illuminated by an YAG:Nd³⁺ laser ($\lambda=1.06\mu\text{m}$) with a power density of 141 kW/cm^2

光束在相同轴线上透过, 发现沿晶体 o 轴严重散开, 见图(b)。

总之, 红外光会引起 LiNbO₃ 的光折变。对克服光折变和提高光折变灵敏度都有现实意义。

徐观峰、仲跻国两同志提供样品。作者对他们表示谢意。

参 考 文 献

- [1] A. Ashkin *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1966, **9**, 72.
- [2] G. E. Peterson *et al.*; *J. Amer. Ceramic Society*, 1973, **56**, No. 5, 278.
- [3] Y. Ohmari *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **25**, No. 12, 716.
- [4] D. L. Staebler and Phillips; *Appl. Opt.*, 1974, **13**, 788.
- [5] W. Phillips *et al.*; *RCA Rev.*, 1972, **33**, 94.
- [6] D. von der Linde *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **25**, No. 3, 155.
- [7] R. L. Holman *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **32**, No. 5, 280.
- [8] 温金珂等; 《南开大学学报》, 1980, 1~2 期, 46.
- [9] H. L. Levinstein *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1966, **37**, 4585.
- [10] 李荫远, 杨顺华; 《非线性光学》, (1974, 科学出版社).
- [11] R. L. Byer *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1981, **39**, No. 1, 17.
- [12] 王廷福, 张纯玉; 《中国激光》, 1983, **10**, No. 4, 198.

Photorefractive effect induced by YAG:Nd³⁺ laser in LiNbO₃

ZHANG CHUNYU AND WANG TINGFU

(Southwestern Institute of Technical Physics)

(Received 22 December 1983; revised 17 April 1984)

Abstract

This paper reports our experimental results obtained by using high-purity LiNbO₃ for photorefractive effect which is induced by YAG:Na³⁺ laser beam. The spatial distribution of birefractive change have been measured. It is demonstrated that the spatial distribution of birefringence change is asymmetric. A plot of the photorefractive as a function of various annealing temperatures and hold time have been measured. The induced changes in extraordinary is 3~4 times as large as the ordinary index.