

折射率周期变化的 LiNbO_3 晶体的制备 及其布喇格效应

洪静芬 许自然 冯壁华 杨永顺

(南京大学物理系, 南京 210008)

摘 要 提拉法生长掺有溶质的 LiNbO_3 晶体时, 有意识地引入周期性生长层, 制备了折射率沿生长方向周期变化的 LiNbO_3 晶体。测量和研究了晶体的双折射率和布喇格衍射。实验结果证实晶体中折射率变化周期与生长层周期相一致。

关键词 LiNbO_3 晶体, 晶体生长, 双折射率, 布喇格衍射。

1 引 言

生长层是晶体沿生长方向溶质浓度的不均匀现象^[1]。本文作者曾有意识地引入周期性生长层, 利用溶质非均匀分布的极化机制, 诱发正、负电畴一维周期排列的聚片多畴 LiNbO_3 晶体^[2,3]。溶质浓度的变化也影响晶体的折射率, 为此, 生长在掺有溶质钇的 LiNbO_3 晶体时, 引入周期为 mm 和 μm 量级的生长层。并测量了晶体相应区域的双折射率; 研究了晶体的布拉格衍射效应。

2 布喇格衍射条件

晶体中折射率若沿 Z 方向一维周期变化, 变化周期为 d , 其折射率的空间分布可表示为

$$n(z) = n(z+md)$$

式中 m 为整数。入射到晶体中的光束, 在各等折射率面上发生衍射, 当光的入射角(入射光束与等折射率面之间的夹角)满足布喇格衍射条件时, 则各周期中产生的衍射光发生相长干涉, 形成布喇格衍射, 出现 0 级和 +1 级(或 -1 级)衍射光。在各向异性晶体中, 折射率与通光方向及偏振态有关, 布喇格衍射条件为^[4]

$$2d \sin \theta_s = \frac{\lambda}{n_s} - \frac{d^2}{n_s \lambda} (n_i^2 - n_s^2), \quad 2d \sin \theta_i = \frac{\lambda}{n_i} + \frac{d^2}{n_i \lambda} (n_i^2 + n_s^2).$$

λ 是光波长, n_s, n_i 分别是入射光和衍射光的折射率, θ_s 和 θ_i 分别为入射角和衍射角。 LiNbO_3 是单轴晶体, 研究用样品是沿光轴(Z 轴)方向折射率周期分布, 测量光束为沿 X 方向偏振的线偏振光, 沿 YZ 面入射。因此晶体中的入射光和衍射光都为寻常光, 则有 $n_i = n_s = n_o$ (寻常光的折射率), $\theta_s = \theta_i$, 以 θ 表示。于是上面各向异性布喇格衍射条件可简化为

$$2d \sin \theta = \lambda/n_0.$$

与一维衍射光栅(光栅常数为 d)的布喇格衍射条件相同。

3 实验与结果

3.1 样品制备

在同成分配比的 LiNbO₃ 原料中, 掺入 0.3~0.5% (重量比) 钇。晶体 Z 轴提拉。利用晶体在温度场对称轴与晶体旋转轴不一致的温度场中旋转^[5], 引入周期为 μm 量级的生长层; 采用交变电流通过固-液界面的调制电流法^[3], 晶体中引入 mm 量级的生长层。图 1 是典型样品 Y 面上显示的周期性生长层照片。

3.2 测量双折射率

测量样品如图 2(a) 所示, 有 5 条 mm 量级宽度的生长层。样品经研磨抛光, 用光学均匀性的扫描测量法^[6], 以 x - y 记录仪记下通过生长层区域的透射光强(相对值), 图 2(b) 是透射光强的记录曲线。在测量过程中, 保持入射光强稳定, 用斩波器消除杂散光, 样品的厚度是均匀的, 因此, 透射光强只与晶体中的双折射率 $\Delta n = n_o - n_e$ 有关。图 2(b) 显示了晶体中双折射率的相对变化量, 对照图 2(a) 和图 2(b) 可见, 双折射率变化与生长层的厚度相对应。

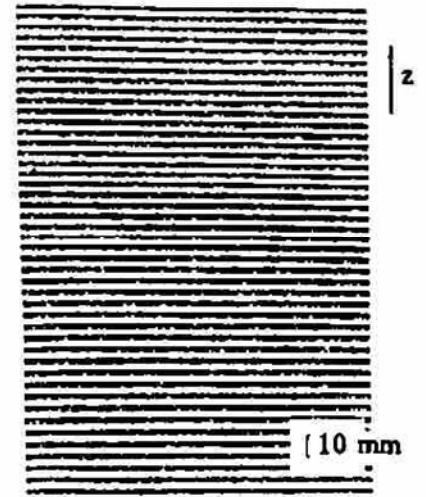


Fig. 1 Periodic growth layers

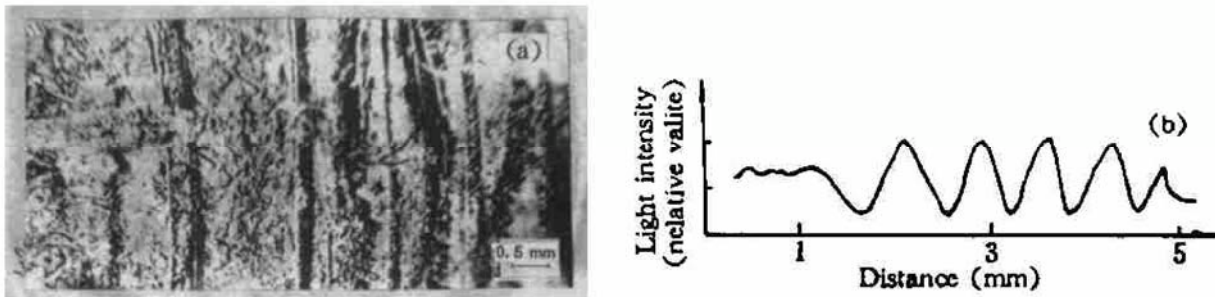


Fig. 2 (a) Growth layers in sample, (b) Recording of light intensity

3.3 测量布喇格衍射

对用作研究布喇格衍射的样品, 先显示出其生长层, 再测量每个样品的生长层宽度, 测得各个样品的生长层均匀周期 \bar{s} , 记录在表 1 中。

Table 1. Measured results

sample	\bar{s} (μm)	D (cm)	l (cm)	I_0 (mw)	I_{+1} (mw)	I_{-1} (mw)	d (cm)
1	5.2	40.0	4.7	2.1	1.5	1.6	5.1
2	6.3	40.0	3.7	2.2	1.0	1.1	6.5
3	6.9	40.0	3.4	2.3	0.6	0.4	7.5
4	7.9	38.0	3.0	2.1	1.3	1.1	8.0
5	8.5	38.0	2.9	2.1	1.2	1.1	8.3

样品经抛光, 观测其布喇格衍射效应。测量光路和样品的取向如图 3 所示。光源为 He-Ne 激光, 光束沿 YZ 平面入射, X 方向偏振, Z 方向是样品的光轴方向。样品可沿 X 轴旋转, 调节入射角 θ , 当 θ 角满足布喇格衍射条件时, 在光屏 E 上除入射方向出现 0 级衍射光之外,

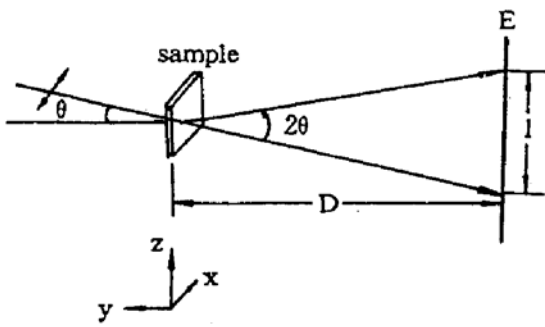


Fig. 3 Schematic diagram for Bragg diffraction measurement

还出现 +1 级衍射光。当入射角在等折射面(Y 面)的另一侧为 $-\theta$ 时, 在 0 级衍射光的另一侧出现 -1 级衍射光。测量样品与光屏之间距离为 D , 屏上 0 级与 +1 (或 -1) 级衍射光的距离为 l , 用功率计测量 0 级, +1 和 -1 级的衍射光强(分别以 I_0 、 I_{+1} 和 I_{-1} 表示), 这些测量结果都记录在表 1 中。

利用布喇格衍射条件, 计算得到样品的折射率变化周期 d , 也记录在表 1 中。比较同一样品的生长层周期 \bar{s} 和折射率变化周期 d , 两者之间, 除 3 号样品有较大的误差外, 其他四个样品均在测量的误差范围之内。

4 讨 论

测量晶体的双折射率, 得到双折射率变化与晶体中的生长层周期存在一一对应关系, 布喇格衍射研究结果也证实晶体中折射率变化周期与生长层周期相一致。这些结果表明, 在晶体生长过程中引入周期性生长层, 可以制备出折射率一维周期分布的晶体。利用晶体在温场对称轴与晶体旋转轴不一致情况下旋转和交变电流通过生长界面技术, 是引入周期性生长层的有效方法。通过调节晶体生长速率和转速(对于前一种方法)或交变电流的周期(对于后者)改变折射率变化周期。对 LiNbO_3 晶体, 其周期可以调节到 μm 量级, 因此, 在可见光波长范围, 可以观察到布喇格衍射。

用于研究布喇格衍射的 1 号和 3 号样品, 是同一条晶体上切下来的, 厚度相同, 1 号样品的生长层之间最大的宽度差为 $0.3 \mu\text{m}$, 3 号样品中的宽度差达到 $1 \mu\text{m}$ 。测量结果表明: 前者的折射率周期与生长层周期相一致, 而后者有较大的误差。前者 $I_1/I_0 = 0.7$, 后者 $I_1/I_0 = 0.2$, 实验结果表明: 生长层的均匀性, 是影响布喇格衍射效率的主要因素。

本工作得到闵乃本教授的指导, 杜剑华和朱晓辉同学参加部分实验工作, 作者在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 闵乃本, 晶体生长的物理基础. 上海科学技术出版社, 1982
- [2] Ming Naiben, Hong Jingfen, Feng Duan, The growth striations and ferroelectric domain structures in Czochalski-grown LiNbO_3 single crystal. *J. Mater. Science*, 1982, 17(6): 1663~1670
- [3] 洪静芬, 杨永顺, 电流调制法制备聚片多畴 LiNbO_3 晶体. *光学学报*, 1984, 4(9): 821~824
- [4] A. Yariv, P. yeh, *Optical waves in crystals. propagation and control of laser radiation*, John Wiley & Sons. Inc., New York, 1984
- [5] 闵乃本, 洪静芬, 孙政民等, 直拉法 LiNbO_3 单晶体中的旋转生长条纹. *物理学报*, 1981, 30(12): 1672~1675
- [6] 张杏奎, 沈惠敏, 许自然等, 调制晶体光学均匀性的扫描测量法. *南京大学学报(自然科学版)*, 1981, (2): 211~218

Preparation of LiNbO_3 Crystal with Periodic Change of Refractive Index and Its Bragg Diffraction Effect

Hong Jingfen Xu Ziran Feng Bihua Yang Ysongshen

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210008)

(Received 23 April 1994; revised 30 May 1994)

Abstract The growth striations have been intentionally produced in Y-doped LiNbO_3 crystals during Czochralski growth. The LiNbO_3 crystals with periodic change of refractive index have been prepared. Birefractive index and Bragg diffraction have been observed and measured in the crystals. Experimental results show that the correspondence relation between period of refractive index and period of growth layers has been demonstrated.

Key words lithium niobate crystal, crystal growth, birefractive index, Bragg diffraction.

上海大学完成光孤子传输实验研究

1995年4月18日在上海大学(嘉定校区)由上海市科委召开了上海市自然科学基金项目——“光孤子通信实验系统的研究”鉴定会。上海大学是继清华大学后,国内第二家完成光孤子实验系统的研究单位。

以上海大学(嘉定校区)无线电系黄肇明教授为首的课题组与中国科学院上海光学精密机械研究所合作,经过一年余的艰苦努力,对光孤子通信这个世界性的前沿课题进行了初探,对光孤子有了进一步的认识,在此基础上有了新的设想和发展。主要体现在:

- 1) 上海大学尝试使用正常色散光纤对光源脉冲自然整形、消啁啾,成功地观察到整形后脉冲的孤子压缩现象;
- 2) 提出在长距离(> 6000 km)传输中“啁啾补偿法”确定中继距离;
- 3) 直接用光电探测系统观测在 17.1 dB 的放大器增益下,在 20 km 反常色散光纤中的输出光脉冲从 38.5 ps 压缩至 34.0 ps。
- 4) 针对通常应用的色散补偿光路的不足,提出新的改进设想

(黎风)