

研究简报

铌酸锶钠锂单晶折射率及透光曲线的测量

麦振洪 周堂

(中国科学院物理研究所)

1980年12月10日收到

提 要

本文首次研究了用提拉法生长的透明不裂铌酸锶钠锂单晶在可见光波段的折射率和透射率,并分析了其误差因素。

一、引 言

1970年 Yano^[1], Ohta^[2] 等报道了用提拉法生长铌酸锶钠锂 ($\text{Sr}_4\text{NaLiNb}_{10}\text{O}_{30}$ 以下简称 SNLN) 单晶,指出该晶体具有良好的电光性能,在室温下为正交的超点阵结构,并简单地报道了室温下 SNLN 单晶对波长 $6328 \text{ \AA}$ 的折射率。由于 SNLN 单晶生长容易产生共析分解,目前国际上尚未获得大块完整单晶。我们用大块无色透明 SNLN 单晶首次研究了室温下 SNLN 在可见光波段的折射率以及透光曲线。

二、实验与结果

SNLN 单晶属于 $mm2$ 点群,负光性双轴晶体。对折射率的测量,我们采用固定入射角的直角棱镜法^[3],其直角棱边分别为晶体两个主轴。我们所用的 SNLN 单晶是用提拉法得到的透明不裂单晶^[4]、样品经 X 射线定向后切成三个直角棱镜,其棱镜角分别为 $23^\circ 29' 10''$; $23^\circ 52' 8''$ 和 $22^\circ 48' 11''$ 。直角棱边偏离晶体主轴小于 $30'$ 。然后细磨、抛光、极化处理。折射角的测量是在 Precision Goniometer-Spectrometre SGo 1.1 上进行。光源为 $6328 \text{ \AA}$ 氦-氖激光器和经校准的高压汞灯。室温下,测得 SNLN 单晶在可见光波段的折射率^[8]。其结果满足 Sellmeier^[5] 方程(如图 1)。用最小二乘法算出 Sellmeier 常数,得折射率方程为

$$n_a^2 = (2.23374)^2 - \frac{131891 \times 10^2}{(2471.28)^2 - \lambda^2},$$

$$n_b^2 = (2.2229)^2 - \frac{129614 \times 10^2}{(2463.55)^2 - \lambda^2},$$

$$n_c^2 = (2.2029)^2 - \frac{125448 \times 10^2}{(2413.95)^2 - \lambda^2}.$$

折射率的测量值与计算值列于表 1。由表 1 可见,其测量值与计算值之差小于 1×10^{-3} 。

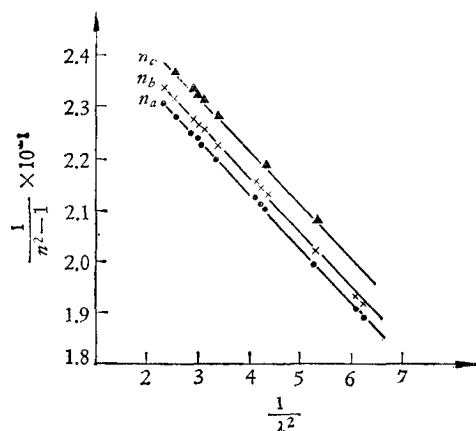


图 1

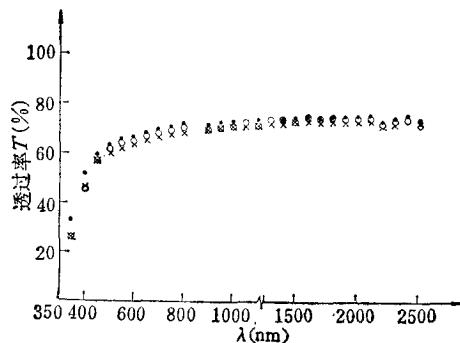


图 2 入射光沿 SNLN 单晶三主轴的透过率

×——光垂直于 b 面入射;
 ●——光垂直于 c 面入射;
 ○——光垂直于 a 面入射

表 1 室温下 SNLN 单晶主折射率

波长($\text{\AA}$)	n_a		n_b		n_c	
	测量值	计算值	测量值	计算值	测量值	计算值
6563	2.3115	2.3122	2.2998	2.3003	2.2780	2.2781
6328	2.3188	2.3191	2.3072	2.3072	2.2847	2.2846
5893	2.3348	2.3346	2.3227	2.3224	2.2992	2.2993
5790.66	2.3391	2.3389	2.3272	2.3267	2.3035	2.3034
5769.60	2.3400	2.3389	2.3281	2.3276	2.3044	2.3042
5460172	2.3555	2.3549	2.3431	2.3425	2.3186	2.3185
4916.04	2.3889	2.3916	2.3761	2.3786		3530
4890.27	2.3925	2.3938	2.3797	2.3807		2.3551
4861	2.3968	2.3963	2.3842	2.3832	2.3579	2.3574
4358.34	2.4530	2.4522	2.4285	2.4381	2.4094	2.4095
4077.8	2.4992	2.4986	2.4836	2.4837		2.4524
4046.56	2.5054	2.5048	2.4896	2.4897		2.4580

为了研究 SNLN 单晶体光学稳定性,我们对其中一个样品相隔一年半进行两次测量,所测得折射率年变化率在测量误差范围之内($<10^{-4}$),表明在常温下,SNLN 单晶折射率是稳定的。

在测量的同时,我们就室温下测量温度对折射率的影响进行了研究。在 9°C 到 26°C 范围内,测得折射率随温度变化在测量误差范围之内。

SNLS 单晶是负光性双光轴晶体,根据光轴角 $2V$ 公式^[6]

$$\operatorname{tg} V = \frac{n_c}{n_a} \sqrt{\frac{(n_a + n_b)(n_a - n_b)}{(n_b + n_c)(n_b - n_c)}}.$$

由实验测得 n_a, n_b, n_c 算出对波长平均光轴角 $2V = 70.55^\circ$, 对钠黄光 $2V = 71.37^\circ$.

对透过率的测量, 样品加工成 3mm 的立方体, 然后如前加工、极化处理. 用 MQ3 和 Perking-Elmen Grating Infrared spec. 577 测量了 0.2—50 μm 范围 SNLN 单晶沿 a, b, c 轴的透过率, 发现晶体在 0.39—5 μm 之间是透明的^[8], 而且三主轴透过率差别不大. 在 6 μm 以后基本不透明. 在 12 μm 和 25 μm 附近有微弱的透过. 图 2 是入射光分别沿 a, b, c 轴的透过率. 同时, 我们还注意到, 偏振的入射光对红外波段的透过率并无显著的影响, 而在可见光波段, 偏振方向平行于 c 轴透光率比沿 a 轴或 b 轴稍高(如图 3 所示).

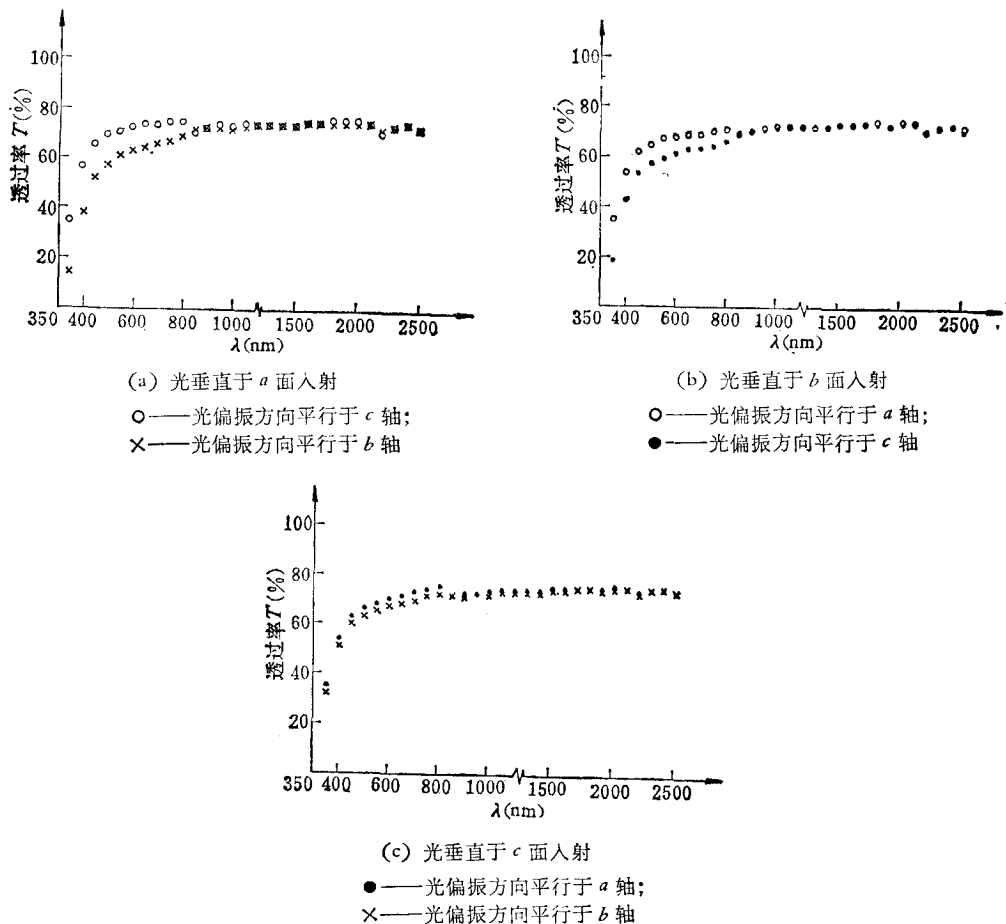


图 3 入射光偏振方向沿三主轴的透过率

三、实验误差分析

对折射率测量误差主要有:

(1) 晶体定向不准引起的误差. 如果晶体棱镜的稜边定得很准, 且光线垂直入射, 两

电矢量振动方向分别沿 c 和 b 轴, 即测得 n_c 和 n_b . 假设 c 向定向不准, 有一偏差角 θ . 这样, 电矢量一个振动方向与 c 轴有一夹角. 由折射率椭球推出, 此时所测得的 n'_c 为

$$n'_c = n_a n_c \sqrt{\frac{1}{n_c^2 \sin^2 \theta + n_a^2 \cos^2 \theta}}.$$

设 $\theta = 40'$, 即 $\Delta n'_c \approx 4 \times 10^{-4}$. 我们所用的晶体稜镜其偏差小于 $30'$.

(2) 入射光不沿光轴入射引起的误差. 如果入射光不垂直于晶体直角稜面入射, 类似上述情况, 会产生误差. 在我们的测量中, $\Delta \theta \sim \pm 2''$, 即 $\Delta n \sim 1 \times 10^{-5}$.

(3) 测角仪精度引起的误差. 主要是测角仪本身精度引起的误差.

$$\Delta x = \pm \sqrt{2\Delta\alpha^2 + 2\Delta\beta^2},$$

其中 $\Delta\alpha$ 为对准误差; $\Delta\beta$ 为平均读数误差. 对 SGo 1.1 测角仪, $\Delta x \sim \pm 2''$, 其相应 $\Delta n \sim 1 \times 10^{-5}$.

(4) 测量引起的误差. 主要由测量稜镜角 x 和折射角 δ_λ 的误差引起.

$$\Delta n = \pm \sqrt{\frac{\sin^2 \delta_\lambda}{\sin^4 x} \Delta x^2 + \frac{\cos^2 (x + \delta_\lambda)}{\sin^2 x} \Delta \delta_\lambda^2}.$$

在实际测量中 $\Delta x = \pm 4''$, $\Delta \delta_\lambda = \pm 10''$, 引起的折射率误差 $\Delta n \sim 6 \times 10^{-5}$.

(5) 晶体不完整性引起的误差. 由于 SNLN 晶体生长采用大温度梯度, 并在共析反应区以快速降温等措施来避免共析分解, 使得晶体缺陷增加^[7]、热应力增大, 引起光谱线的发散而造成误差. 所测样品不完整性引起的光谱线发散可达 $7'$, 相对应的 $\Delta n \sim 2 \times 10^{-3}$. 而且 n_c 组光谱线发散比 n_a 或 n_b 组严重.

从以上分析可见, SNLN 单晶折射率测量误差主要由晶体光学质量不好引起.

透过率测量误差主要由仪器精度、样品位置和样品完整性引起. 在我们的测量中, 总的测量误差 $\sim 10\%$ 左右.

四、结 束 语

SNLN 单晶在室温下具有优良的电光、压电、热电性能^[8], 而且光学品质稳定. 目前影响其光学、电学性能的主要因素是晶体不完整性. 如果能解决晶体生长过程中共析分解问题, 获得大块透明不裂、完整性好的晶体, 可能在电光、压电等方面有应用前景.

SNLN 单晶 n_c 折射率谱线发散度大以及沿 c 轴透过率在可见光波段稍高, 可能与晶体生长缺陷有关. 该晶体容易产生解理性开裂, 解理程度 a 面 $\geq b$ 面 $> c$ 面, 其结果是 a, b 面解理形成方形或矩形“小条柱”^[4]. 这些沿 c 轴分布的“小条柱”使得沿 c 轴偏振的 n_c 组谱线弥散. 对透过率的测量, 当光沿 c 轴入射时所受“小条柱”的“反射”较小, 故其透过率比沿 a 轴或 b 轴稍高.

最后, 值得讨论的是, Yano^[1] 报道了 SNLN 单晶光轴角为 64° , 但我们测量结果计算的光轴角对钠黄光为 71.37° . 根据 Yano 给出的折射率 $n_a = 2.31$, $n_b = 2.30$, $n_c = 2.27$ 计算, 应得 $2V = 59.35^\circ$. 另外, 我们用光学方法测得其光轴角也约为 71° . 因此, 我们认为 Yano 给出的光轴角是值得探讨的.

本实验所用的样品是由成希敏同志加工的, 并得到胡伯清同志的帮助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] T. Yano *et al.*, *Jap. J. Appl. Phys.*, **9** (1970), 1008.
- [2] T. Ohta *et al.*, *Jap. J. Appl. Phys.*, **9** (1970), 721.
- [3] W. L. Bond, *J. Appl. Phys.*, **36** (1965), 1674.
- [4] 中国科学院物理研究所晶体学室铌酸盐晶体研究组, 物理学报, **28** (1979), 229
- [5] M. Di Domenico, Jr. and S. H. Wemple, *J. Appl. Phys.*, **40** (1969), 720.
- [6] 季寿元、王德滋编, 晶体光学, 高等教育出版社, 46 页 (1965).
- [7] 津屋英树、藤野芳男, 应用物理, **45** (1976), 1112 (2).
- [8] 朱镛、张道范, 物理学报, **28** (1979), 234.

THE MEASUREMENTS OF THE REFRACTIVE INDICES AND THE TRANSMISSIVITIES OF $\text{Sr}_4\text{NaLiNb}_{10}\text{O}_{30}$ SINGLE CRYSTALS

MAI ZHEN-HONG ZHOU TANG

(Institute of Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

It was the first time to investigate the refractive indices and the transmissivities of $\text{Sr}_4\text{NaLiNb}_{10}\text{O}_{30}$ single crystals grown by the Czochralski method in the visible wavelength region. The experiment errors were discussed.