

铁电单晶 $(K_xNa_{1-x})_{0.4}(Sr_yBa_{1-y})_{0.8}Nb_2O_6$ 的光学性质和线性电光效应

许煜寰 陈焕鑫
(中山大学物理系) (山东大学晶体材料研究所)

1984年9月20日收到

提 要

本文介绍铁电单晶 $(K_xNa_{1-x})_{0.4}(Sr_yBa_{1-y})_{0.8}Nb_2O_6$ 的光学性质和线性电光效应的测量。实验结果表明,这种晶体具有较大的光学双折射,透光范围由 $4000\text{\AA}$ 到 $5.6\mu\text{m}$ 。晶体具有低的线性电光调制的半波电压,其电光调制价值指数 $n_0^3 \cdot r$ 高达 $730 \times 10^{-12}\text{m/V}$,而激光损伤阈值为 600 MW/cm^2 (4 pps),表明该晶体可作为较大功率激光调制使用的材料。

一、引 言

铁电单晶系列 $(K_xNa_{1-x})_{0.4}(Sr_yBa_{1-y})_{0.8}Nb_2O_6$, 其中 $0.50 \leq x \leq 0.75$, $0.30 \leq y \leq 0.92$ (简称为 KNSBN) 属于 A 位填满型四方钨青铜结构,在室温时呈点群 4mm 的对称性。这种晶体容易生长^[1]。研究表明^[2,3], KNSBN 晶体具有优良的压电和热电性能。KNSBN 晶体的性能与铌酸锶钡 (SBN) 接近,结构上, A 位则完全被阳离子填满。它应该同时具有良好的线性电光效应和抗激光损伤的能力。本工作的目的是研究 KNSBN 晶体的光学和线性电光效应以及抗激光损伤的能力,以探明这种晶体在激光调制方面的应用价值。

二、样品的制备

用提拉法生长出的单晶 $(K_{0.20}Na_{0.20}Sr_{0.60}Ba_{0.20})Nb_2O_6$ 经过激光透射检验以及对晶体切片用偏光显微镜观察,确证无生长条纹,然后用 X 射线定向切割。用于电光效应及抗激光损伤测量的样品,切成平行六面体,切面分别垂直于四方晶系的晶轴 a , a 及 c , 每边长约 3 至 6mm 不等。样品经过研磨抛光,使至少一对垂直 a 轴的面成为光学平面,然后在垂直 c 轴的一对平面上涂以室温银浆作为电极。将样品置于约 200°C 的硅油中,沿 c 轴方向加 1 kV/mm 的直流极化电场,然后将样品带电冷却到室温,使之单畴化。对用于折射率测量的样品,则需切割成顶角约 30° 的等腰三角形(底边平行 a 轴)的稜柱,两个等腰面抛光成光学平面。

三、光学双折射及透光波长范围

将 KNSBN 晶体的 c 切片(厚度约为 0.1mm)置于偏光显微镜中观察. 按常规调节出有黑十字形的等色干涉花样,然后将石英楔自第 4 象限插向第 2 象限,干涉花样的干涉环随即在第 2, 4 象限收缩而在第 1, 3 象限扩大. 由此判明 KNSBN 晶体是负光性单轴晶体,其主折射率 $n_e < n_o$.

室温时折射率的测量采用常规的最小偏向角方法. 使用上海光学仪器厂生产的 0.5 秒精密测角仪,测定棱柱样品的顶角及光束的偏转角. 考虑了系统误差之后,测角的最大偏差不超过 20 秒. 采用白炽光源加干涉滤色片的方法取得单色光,单色光的半宽度在 100 Å 左右. 测量的结果如表 1 所列.

表 1 晶体的光学双折射

波长(Å)	n_o	n_e	$\Delta n (=n_e - n_o)$
6330	2.3066	2.2490	-0.0576
5610	2.3358	2.2747	-0.0611
4300	2.3551	未测出	—

用 UV-240 紫外-可见区分光光度计和 5 DX FT-IR 红外分光光度计对 KNSBN 样品进行透光强度谱的测量,测得晶体的透光范围由 4000 Å 到 5.6 μm.

四、线性电光效应

测量线性电光效应的半波电压和电光常数 $\gamma_c = \gamma_{33} - (n_e/n_o)^3 \gamma_{13}$ 的装置如图 1 所示. 采用氙灯加滤光片($\lambda = 5461$ Å)作为单色光源,将待测晶体样品置于两个偏振方向正交的起偏器与检偏器之间,使起偏器与检偏器的偏振方向均与晶体的 c 轴成 45° 交角. 沿晶体的 c 轴(单轴晶的光轴)方向施加 50 Hz 调制的直流电压^[4,5]. 用 SYLVANIA 931-A 型光电管和 FLUKE 8300A 型数字式伏特计测量透射出的单色光强度. 将加于样品上的直流电压逐渐增大直到透射光强度由某一极小值达到相邻的极大值,读出该极小值与极大值之间的电压差值,即为测量的半波电压 $V_{\pi\text{测}} (=V_{\lambda/2\text{测}})$. 显然 $V_{\lambda/2\text{测}}$ 与样品的尺寸 l 和 d 有关. 为便于比较,由下式计算出归一化半波电压 $V_{\lambda/2,l/d=1}$ 的值:

$$V_{\pi\text{测}} = V_{\lambda/2\text{测}} = \frac{\lambda d}{n_o^3 \gamma_c} = (V_{\lambda/2,l/d=1}) \cdot \frac{d}{l},$$

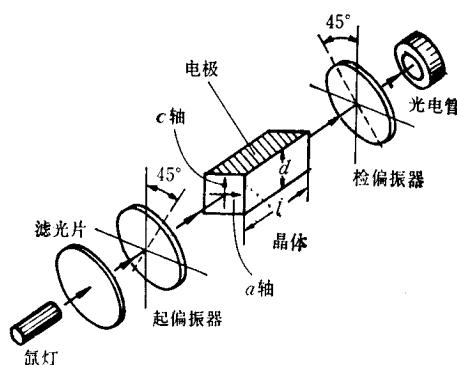


图 1 线性电光效应的测量装置示意图

即

$$V_{\lambda/2, l/d=1} = \frac{l}{d} (V_{\lambda/2}),$$

其中 $V_{\lambda/2}$ 为测量时电压差值的读数, λ 为单色光波长, d 为样品的电极间距, l 为样品的光学长度, n_0 为寻常光折射率, r_e 为有效电光常数.

线性电光效应还用另一种装置进行了测量: 样品按图 1 的方法置于两个正交的偏振片之间, 光源采用 He-Ne 激光 ($\lambda = 6328 \text{ \AA}$), 以无调制的直流电压加于样品之上, 用硅光电池和光点反射式灵敏检流计检测透过检偏振器的光强. 读取透光极大值与相邻的极小值之间的电压差值 V_{π} , 所得的结果与上面第一种装置接近. 实验结果如表 2 所示.

表 2 电光效应实验结果

$\lambda(\text{\AA})$	$l(\text{mm})$	$d(\text{mm})$	$V_{\lambda/2}(\text{V})$	$V_{\lambda/2, l/d=1}(\text{V})$	n_0^3	$r_e(\times 10^{-12} \text{ m/V})$
5461	2.25	3.120	1198	863	12.7440	50
6328	4.50	3.125	600	864	12.2720	59

五、抗激光损伤的破坏性试验

为了研究 KNSBN 晶体激光损伤的阈值, 进行了破坏性试验. 将晶体样品 ($6 \times 6 \times 6 \text{ mm}^3$) 仔细抛光出光学平面, 采用多级放大单模 (TEM_{00} 模) YAG 激光器作光源, 对晶体样品作辐照. 光源的波长为 $1.064 \mu\text{m}$, 输出能量可变, 并用光阑限制光斑的直径. 为了在同样装置条件下进行对比实验, 同时加工制备了 SBN, LiNbO_3 和 BNN 的晶体样品, 一起进行测试. 测试的结果如表 3 所列.

表 3 抗激光损伤破坏性实验结果

晶 体	光阑直径 $\phi(\text{mm})$	激光功率密度 (MW/cm^2)	脉冲宽度	重复频率	结果
SBN ($\text{Sr}_{0.50}\text{Ba}_{0.50}\text{Nb}_2\text{O}_6$)	2.5	300	6ns	1pps	第 2 次即破坏
LiNbO_3	1.0	617.5	6ns	1pps	第 2 次即破坏
KNSBN ($\text{K}_{0.20}\text{Na}_{0.20}\text{Sr}_{0.60}\text{Ba}_{0.20}\text{Nb}_2\text{O}_6$)	1.0	617.5	6ns	1pps	未破坏
	1.0	617.5	6ns	4pps	1 分钟后破坏
BNN ($\text{Ba}_2\text{NaNb}_3\text{O}_{15}$)	1.0	617.5	6ns	1pps	未破坏
	1.0	617.5	6ns	4pps	未破坏

由实验结果可知, SBN 的抗激光损伤的阈值较低, 约 $300 \text{ MW}/\text{cm}^2$ (1pps). KNSBN 晶体的抗激光损伤阈值比 LiNbO_3 和 SBN 都要高, 约为 $600 \text{ MW}/\text{cm}^2$ (4 pps), 但尚不及填满型钨青铜结构的 BNN 晶体. 估计这是由于 KNSBN 晶体在生长过程中有部分的 K_2O 或 Na_2O 蒸发, 结构中仍存在少量的 A 空位所致.

在测试过程中还发现: KNSBN 和 BNN 晶体一样, 在 $1.06 \mu\text{m}$ 激光照射下, 样品出

现绿色光斑。BNN 晶体是熟知的具有很好倍频效应的晶体, 估计 KNSBN 晶体也与 BNN 相类似, 会具有好的倍频效应。

六、结 论

KNSBN 单晶具有不溶于水、机械强度好、易于切割抛光等优点。只要选择合适的单晶生长和退火条件, 就容易由熔体中用提拉法生长出大尺寸的和光学性质均匀的单晶, 可望用于激光调制。晶体易于用施加直流电场的方法达到单畴化。

本工作对 KNSBN 的光学性质和电光效应等作了测量, 结果表明: KNSBN 具有大的光学双折射, 透光范围自 $4000 \text{ \AA}$ 到 $5.6 \mu\text{m}$, 与其他具有氧八面体结构的铁电晶体相似。由于 KNSBN 属于 A 位填满型钨青铜结构, 其抗激光损伤的阈值达到 600 MW/cm^2 (4pps), 比同类型而 A 位未填满的 SBN 晶体的阈值—— 300 MW/cm^2 (1 pps) 大为提高, 有可能应用于较大功率的激光调制中。

KNSBN 还具有半波电压(归一化)低的优点, 作为电光调制材料的价值指数 $n_0^3 \cdot r_c = 730 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ (对 $6328 \text{ \AA}$ 波长), 而熟知的 BNN 和 LiNbO_3 晶体的电光调制价值指数则小于 $400 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ [6]。显然, KNSBN 是在较大功率激光技术中具有应用价值的一种电光调制晶体。

晶体的激光损伤阈值是由电子工业部11所张世文、郝华富、刘家彬等同志帮助测量的, 晶体的光学折射率是由中国科学院上海硅酸盐研究所谭浩然、王锦昌同志帮助测量的。作者在此对上述同志表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 陈焕鑫、许煜寰, 硅酸盐学报, **10**(4) (1982), 406.
- [2] 许煜寰、陈焕鑫, 物理学报, **32**(1983), 705.
- [3] Xu Y. H. (许煜寰), Chen H. C. (陈焕鑫), L. E. Cross, *Ferroelectrics Letters*, **2**(1984), 189.
- [4] T. S. Narasimhamurty, Photoelastic and Electro-Optic Properties of Crystals, Plenum Press, New York (1981), p. 406.
- [5] John A. van Raalte, *J. Optical Soc. Amer.*, **57**(5) (1967), 671.
- [6] P. Guenter, *Ferroelectrics*, **24** (1980), 35.

OPTICAL PROPERTIES AND LINEAR ELECTRO-OPTIC EFFECT IN FERROELECTRIC SINGLE CRYSTAL



Xu Yu-huan

(Department of Physics, Zhongshan University Guangzhou)

Chen Huan-chu

(Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan)

ABSTRACT

This paper describes the measurements of optical properties and linear electro-optic effect in ferroelectric single crystal $(\text{K}_x\text{Na}_{1-x})_{0.4}(\text{Sr}_y\text{Ba}_{1-y})_{0.8}\text{Nb}_2\text{O}_6$. This crystal exhibits a large birefringence, and has a transparency range from $4000\text{ \AA}$ to $5.6\mu\text{m}$. The low halfwave voltage of $(\text{K}_x\text{Na}_{1-x})_{0.4}(\text{Sr}_y\text{Ba}_{1-y})_{0.8}\text{Nb}_2\text{O}_6$ gives a high value $n_0^3 \cdot r_c$ of $730 \times 10^{-12}\text{m/V}$, which is the figure of merit for EO modulator materials. The threshold energy of 600MW/cm^2 (4pps) for laser damage makes $(\text{K}_x\text{Na}_{1-x})_{0.4}(\text{Sr}_y\text{Ba}_{1-y})_{0.8}\text{Nb}_2\text{O}_6$ attractive for large power laser modulation.