

铁电钾钠铌酸锶钡薄膜电光性能的研究*

康祥 叶辉

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室 杭州 310027)

(2006 年 2 月 21 日收到, 2006 年 3 月 27 日收到修改稿)

采用溶胶-凝胶法在氧化镁单晶衬底上制备了符合化学计量比的完全填充型铁电钾钠铌酸锶钡(KNSBN)薄膜, 通过 X 射线衍射、摇摆曲线、X 射线 ϕ 扫描、扫描电子显微镜等方法研究了薄膜的微结构, 采用 Adachi 法研究了薄膜的电光特性. 实验发现, KNSBN 薄膜在氧化镁(001)单晶衬底上沿 c 轴外延生长, K^+ 、 Na^+ 的引入有效地提高了薄膜的横向电光系数 r_{51} . 成分为 $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.24}Ba_{0.56}Nb_2O_6$, $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.6}Ba_{0.2}Nb_2O_6$, $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.72}Ba_{0.08}Nb_2O_6$ 的三种 KNSBN 薄膜的 r_{51} 值分别为 108.52 pm/V, 119.98 pm/V, 126.96 pm/V, r_{51} 的数值随 Sr^{2+} 含量增加而增大.

关键词: 横向电光系数, 钾钠铌酸锶钡, 外延生长

PACC: 7820J, 7780, 6855, 8270G

1. 引言

近年来, 四方钨青铜型结构的铌酸锶钡($Sr_xBa_{1-x}Nb_2O_6$, $0.2 < x < 0.8$, SBN)以其大的电光系数、热释电系数、高的光折变灵敏度以及良好的压电特性广泛地应用于电光调制器、热释电红外探测器、全息成像存储器^[1-5]等方面. SBN 晶体的纵向电光系数较大^[6,7], 如 SBN75 单晶纵向电光系数值 r_{33} 可达到 1300 pm/V, 而横向电光系数 r_{51} 数值较小, SBN60 单晶的 r_{51} 值只有 42 pm/V, 在很大程度上限制了其使用范围. 此外, 由于 SBN 晶体具有非完全填充型的结构, 晶体中只有 5/6A 空位被 Sr^{2+} 、 Ba^{2+} 填充, 导致了其在强激光作用下容易引起相关器件的损伤.

经过大量研究, 人们发现在 SBN 晶体中掺杂适当的离子可以有效地提高其横向电光系数, 钾钠铌酸锶钡晶体($(K_xNa_{1-x})_{0.4}(Sr_yBa_{1-y})_{0.8}$, $0.50 < x < 0.75$, $0.3 < y < 0.9$, KNSBN)由于碱金属离子的填充, 使晶体不仅具有较大的横向电光系数(其 r_{51} 值可达到 400 pm/V^[8]), 而且其抗激光损伤阈值能够达到 600 MW/cm² (4 pps)^[9], 这两个优良的特性使 KNSBN 晶体在大功率激光调制器、光开关等集成光学器件方面具有广阔的发展前景. 高择优取向甚至外延生长的薄膜具有与晶体相近的物理特性, 因此

采用不同方法制备出外延的 KNSBN 薄膜, 并对其电光特性进行表征成为拓展晶态 KNSBN 材料, 实现集成光学器件应用的有效途径.

MgO 单晶作为衬底材料制备 SBN 薄膜已经获得了广泛的应用^[10,11]. MgO 属于立方晶系, 晶格常数为 0.421 nm, 而 SBN 属四方晶系, 晶格常数是 $a = b = 1.2449$ nm, $c = 0.3935$ nm^[12], 当 SBN 薄膜沿 c 轴生长时与 MgO 的晶格失配率小, 在 MgO 衬底上可以生长出外延的 SBN 薄膜.

近年来对于 SBN 薄膜的生长的报道较多^[13-15], 而关于 KNSBN 薄膜生长^[16,17]及电光特性表征的报道还很少. 本文按照化学计量比配制了 KNSBN 先驱体溶液, 采用溶胶凝胶法在 MgO 衬底上制备出外延的 KNSBN 薄膜, 通过 X 射线衍射、摇摆曲线、 ϕ 扫描、扫描电镜 (SEM) 等方法研究了微结构性能, 并且测量了 KNSBN 薄膜的横向电光系数.

2. 样品制备

采用溶胶-凝胶法制备 KNSBN 薄膜, 使用 Sr 、 Ba 、 KOH 、 $NaOH$ 、乙醇铌($Nb(OC_2H_5)_3$)作为先驱体材料, 乙二醇甲醚($CH_3OC_2H_4OH$)作为公共溶剂. 将 Sr 、 Ba 、 KOH 、 $NaOH$ 分别与乙二醇甲醚溶剂充分反应获得一定浓度的 Sr 、 Ba 、 K 、 Na 的醇盐, 而 Nb 的醇盐由乙醇铌与乙二醇甲醚溶剂置换生成. 所有的溶液

* 国家自然科学基金(批准号: 60578012)和浙江省自然科学基金(批准号: 5405002)资助的课题.

制备都是在纯氩气的氛围中进行,将配制好的各醇盐按一定配比混合,获得三种成分的 KNSBN 溶液: 1) $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.24}Ba_{0.56}Nb_2O_6$, 2) $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.6}Ba_{0.2}Nb_2O_6$, 3) $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.72}Ba_{0.08}Nb_2O_6$, 将混合后的溶液在超声波振荡器中振荡 15min 使离子充分混合,溶液浓度为 0.035mol/L. 实验中采用 MgO(001)单晶(尺寸为 10mm × 10mm)作为衬底,在上面逐层生长 KNSBN 薄膜. 使用旋转涂膜(spin-coating)的方法将 KNSBN 溶液均匀地旋涂于衬底上,转速为 3000r/min 时间为 30s. 然后将样品置于快速热处理装置(RTP-500)中 400℃加热 2min,分解湿膜中的残余有机物,900℃加热 5min,使薄膜结晶. 通过重复旋转涂膜及热处理等步骤获得所需厚度的薄膜. 此时再将样品重新置于 RTP 中在 900℃的退火温度下加热 10min,最终完成薄膜的制备.

3. KNSBN 薄膜的微结构

薄膜晶体结构特性由 X 射线衍射仪(Rigaku D/max-RA)测得,使用 $CuK\alpha$ 线,分别使用线扫描和点扫描来测定薄膜晶体摇摆曲线(rocking curve)与 Φ 扫描衍射图谱. 薄膜的厚度以及表面形貌是由扫描电子显微镜(SEM)获得的.

图 1 为 900℃退火温度下不同配比的 KNSBN 薄膜在 MgO 衬底的 X 射线衍射图谱. 很明显 KNSBN 薄膜除 (001) (002) 峰以外,杂峰几乎被完全抑制,表现出良好的择优取向,同时由于薄膜成份的改变表现出不同的结晶性能,随着 Sr^{2+} 含量的减小, KNSBN(331)与(001)衍射峰强度比值越来越小,说明晶体取向性的提高. 由 X 射线衍射图谱 KNSBN(001)方向的晶面间距得出 KNSBN 样品的晶格常数 c 值,再由四方晶系的晶面间距公式计算得出晶格常数 a 值. 表 1 列出了 KNSBN 薄膜的晶格常数,实验中发现, KNSBN 薄膜的晶格常数 a 随 Sr^{2+} 含量的增加而逐渐增大, Xu 等人^[18]曾经生长出成分为 $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.2}Ba_{0.6}Nb_2O_6$, $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.32}Ba_{0.48}Nb_2O_6$, $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.56}Ba_{0.24}Nb_2O_6$ 的三种 KNSBN 晶体,并且测得它们的晶格常数 a 分别为 1.24799nm, 1.24881nm, 1.25172nm, 具有 a 值随 Sr^{2+} 含量的增加而增大的趋势. 与之相比,我们的薄膜态单晶样品的 a 值与成分的关系与报道的单晶块状晶体一致,但是数值偏小,这可能与薄膜的生长受到衬底的晶格影响与限制所致.

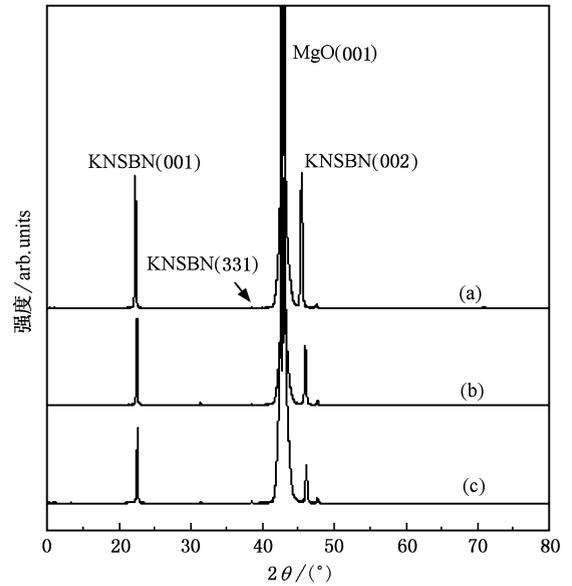


图 1 900℃退火温度下 MgO 衬底上不同成分的 KNSBN 薄膜的 X 射线衍射图谱. 谱线(a)为 $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.24}Ba_{0.56}Nb_2O_6$, (b)为 $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.6}Ba_{0.2}Nb_2O_6$, (c)为 $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.72}Ba_{0.08}Nb_2O_6$

表 1 三种不同成分的 KNSBN 薄膜的晶格常数以及 KNSBN(331)与(001)衍射峰强度比值

KNSBN 薄膜	晶格常数/nm		$\frac{I(331)}{I(001)}$ /%
	a	c	
$K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.24}Ba_{0.56}Nb_2O_6$	1.2222	0.3987	1.30
$K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.6}Ba_{0.2}Nb_2O_6$	1.2295	0.3945	1.42
$K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.72}Ba_{0.08}Nb_2O_6$	1.2304	0.3938	3.19

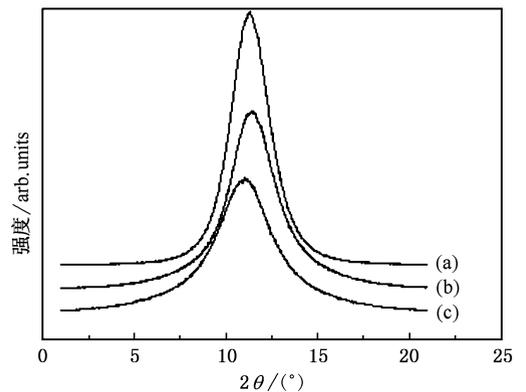


图 2 900℃退火温度下 MgO 衬底上不同成分的 KNSBN 薄膜(001)方向摇摆曲线图谱. 谱线(a)为 $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.24}Ba_{0.56}Nb_2O_6$, (b)为 $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.6}Ba_{0.2}Nb_2O_6$, (c)为 $K_{0.2}Na_{0.2}Sr_{0.72}Ba_{0.08}Nb_2O_6$

图 2 为三种不同成分的 KNSBN 薄膜样品(001)方向 X 射线摇摆曲线图, X 射线摇摆曲线的峰值半高宽值是薄膜结晶取向性优劣的重要指标,使用

Gaussian 算法对曲线进行拟合分别得到 (a) (b) (c) 三种样品的半高宽为 2.29° 、 2.82° 、 3.40° ，可见随着 Sr^{2+} 含量的减小，取向性变好，与 X 射线衍射仪测得的结果相符合。

图 3 显示的是 KNSBN 薄膜的横截面扫描电镜照片，由图中可以看出膜层沿垂直方向生长的柱状结构，薄膜结构致密，晶粒大小均匀，表面光滑，证明了溶胶-凝胶法能够有效地生长满足一定厚度要求的铁电薄膜。

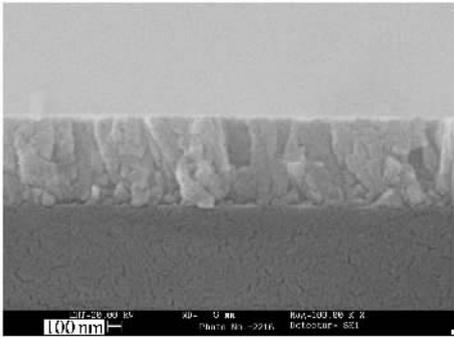


图 3 900°C 退火温度下 MgO 衬底上 KNSBN 薄膜横截面扫描电镜照片

图 4 (a) (b) 分别为 $\text{MgO}(111)$ 面和 KNSBN 薄膜样品 (221) 面的 X 射线 ϕ 扫描图，可以看到 KNSBN 在衬底的平面内有两个方向的取向，分别是沿距离 $\text{MgO}(111)$ 面 $\pm 18.4^\circ$ 方向相互对称的两个反相畴。该结果说明了 MgO 单晶衬底上的 KNSBN 薄膜生长为外延生长，薄膜与衬底之间的取向关系为 $\text{KNSBN}(100) // \text{MgO}(310)$ ，与 Thony 等人^[19] 使用脉冲激光沉积 (PLD) 方法制备的 SBN 薄膜的结果完全相同，因此充分说明碱金属离子的引入不会改变 SBN 的晶体结构与取向关系，使用溶胶-凝胶法同样能够在晶格失配不大的衬底表面生长外延的功能薄膜。产生 $\pm 18.4^\circ$ 反向畴的原因在于晶格匹配以及在异质外延过程中引起的静电能。与 PLD 方法制得的薄膜的结果有所区别的是图 5 所显示的 ϕ 扫描结构峰半峰全宽更宽，且每一个峰都被分裂成两个大小相等的次峰。峰的展宽是由于晶体取向性不足所致，而峰分裂可能与薄膜缺陷有关。

4. KNSBN 薄膜横向电光系数 r_{51} 的测量

测量 KNSBN 薄膜的 r_{51} 值是采用 Adachi^[20] 所叙述的电致双折射方法，测试系统如图 5 所示。采用

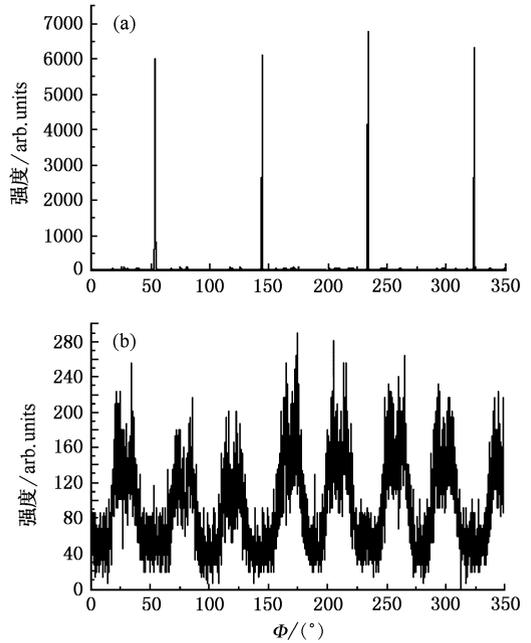


图 4 (a) 为 $\text{MgO}(111)$ 面的 X 射线 ϕ 扫描图，(b) 为 900°C 退火温度下 MgO 衬底上 KNSBN 薄膜 (221) 面的 ϕ 扫描图

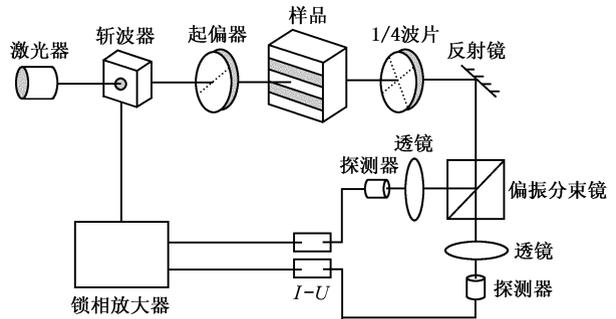


图 5 测量 KNSBN 薄膜横向电光系数 r_{51} 的实验结构图

射频磁控溅射方法制得的氧化铟锡 (ITO) 作为平板电极沉积于 KNSBN 薄膜表面，两电极间距为 0.8mm。测试系统中采用波长为 632.8nm 的光源，激光器发出的光信号通过斩波器变成一定频率的脉冲信号，将斩波器的频率作为锁相放大器的参考信号。测试时首先调整起偏器和补偿器的位置，使得起偏角为 45° ，以保证偏振分束镜 (PBS) 输出的两束偏振方向相互垂直的 s 光和 p 光的光强相等，光束通过样品后，变成椭圆偏振光，调节 1/4 波片使光束重新变成线性偏振光，PBS 将光束分成光场振动方向分别平行于入射面和垂直于入射面的 P 光和 S 光。施加电场后，由于电致双折射效应，薄膜折射率发生改变使得两束光的输出光强值会随着电压的改

变而产生差值,在锁相放大器上可以得到这种微弱的差值信号,从而计算出 KNSBN 薄膜的 r_{51} 值。

测试薄膜横向电光系数的过程中,在 ITO 电极上加电场后产生的双折射位移为

$$\Delta n = n(p // E) - n(p \perp E) \quad (1)$$

p 为光的偏振方向, E 为在薄膜上所加的电场强度方向。

由 (1) 式算得双折射位移为

$$\Delta n = \frac{\lambda \cdot \Delta\theta}{2\pi d}, \quad (2)$$

式中 λ 为氦氖激光器波长, d 为样品膜厚, 本文测定 KNSBN 薄膜膜厚为 200nm, 相位延迟差 $\Delta\theta$ 由锁相放大器两路光强差值得得。图 6 所示为三种薄膜样品的双折射位移 Δn 与所加电场强度之间的关系。

由图 6 可以看出, 大部分数据点符合线性拟合方式, 即 KNSBN 薄膜的电致双折射与所加电场呈线性关系。这是由于样品上施加电场后, 薄膜中发生了线性电光效应(Pockels 效应), 折射率的变化量是线性电光效应作用的结果。此结论与 Sakamoto^[21] 研究 SBN 单晶时发现的施加电场后, 样品中表现出来的电光效应既包括一次电光效应又包括二次电光效应这一结论有所区别。非线性电光效应削弱的原因可能是掺杂离子的影响, 也可能是由薄膜态的结构特点所决定。

实验中最终根据双折射位移可以近似的将 KNSBN 薄膜的横向电光系数表示为

$$r_{51} = \frac{2 \cdot \Delta n}{n^3 \cdot E}, \quad (3)$$

式中 n 为薄膜的折射率, 借助 Cauchy 复折射率色散模型^[22, 23] 利用改进的单纯型方法拟合薄膜的透过率光谱曲线, 本文利用以往文献测得的 SBN 薄膜的折射率 $n = 2.25$ 进行计算。通过 (3) 式以及数据的线性拟合计算得到: 在 MgO 衬底上, 不同摩尔配比的 KNSBN 薄膜横向电光系数如表 2 所示:

表 2 不同成分的 KNSBN 薄膜横向电光系数 r_{51} 值

不同 $\text{Sr}^{2+}/\text{Ba}^{2+}$ 的 KNSBN 薄膜	线性拟合结果	横向电光系数 r_{51} (pm/V)
$\text{K}_{0.2}\text{Na}_{0.2}\text{Sr}_{0.24}\text{Ba}_{0.56}\text{Nb}_2\text{O}_6$	$\Delta n = -1.13 \times 10^{-4} + 6.18 \times 10^{-5} E$	108.52
$\text{K}_{0.2}\text{Na}_{0.2}\text{Sr}_{0.60}\text{Ba}_{0.20}\text{Nb}_2\text{O}_6$	$\Delta n = -1.30 \times 10^{-4} + 6.79 \times 10^{-5} E$	119.98
$\text{K}_{0.2}\text{Na}_{0.2}\text{Sr}_{0.72}\text{Ba}_{0.08}\text{Nb}_2\text{O}_6$	$\Delta n = -1.25 \times 10^{-4} + 7.23 \times 10^{-5} E$	126.96

由表 2 可以得出当 $\text{Sr}^{2+}/\text{Ba}^{2+} = 9$ 时, KNSBN 薄

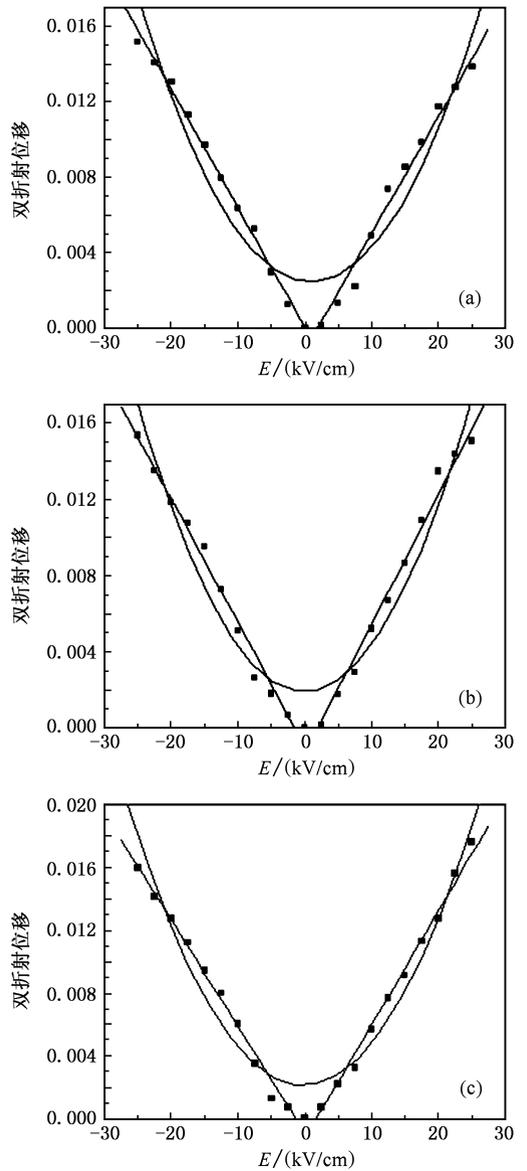


图 6 不同成分的 KNSBN 薄膜双折射位移 Δn 与所加电场强度之间的关系图 (a) 为 $\text{K}_{0.2}\text{Na}_{0.2}\text{Sr}_{0.24}\text{Ba}_{0.56}\text{Nb}_2\text{O}_6$, (b) 为 $\text{K}_{0.2}\text{Na}_{0.2}\text{Sr}_{0.6}\text{Ba}_{0.2}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (c) 为 $\text{K}_{0.2}\text{Na}_{0.2}\text{Sr}_{0.72}\text{Ba}_{0.08}\text{Nb}_2\text{O}_6$

膜横向电光系数 r_{51} 值可达到 126.96pm/V, 不仅比 Shen 等人^[24] 用溶胶-凝胶法制得的 SBN 薄膜的 r_{51} 值 36.85pm/v 大, 而且与 SBN 单晶相比也具有较大的优势, 这使 KNSBN 薄膜完全有可能取代 SBN 薄膜应用于集成光学器件中, 并且应用范围更加广泛。由表 2 还可以得出 KNSBN 薄膜横向电光系数 r_{51} 值随 Sr^{2+} 含量增加而增大, Junmo 等人^[25] 测得的 SBN60, SBN75 薄膜的纵向电光系数 r_{33} 值分别为 173.4pm/V, 306.9pm/V, 纵向电光系数也是随 Sr^{2+} 含量增加而增大的。KNSBN 薄膜与 SBN 薄膜具有相

同的趋势,原因是薄膜的线性电光系数与其自发极化强度和介电常数密切相关,而 SBN 薄膜与 KNSBN 薄膜的 P_s 和 ϵ 值是随 Sr^{2+} 含量增加而增大的。

5. 结 论

1. 使用溶胶-凝胶法在 $\text{MgO}(001)$ 衬底上生长出符合化学计量比的完全填充型铁电 KNSBN 薄膜。
2. 用 X 射线衍射、摇摆曲线、 Φ 扫描、扫描电镜

研究了 KNSBN 薄膜的微结构和性能,得出薄膜在 $\text{MgO}(001)$ 单晶衬底上沿 c 轴外延生长,外延关系为 $\text{KNSBN}(100)//\text{MgO}(310)$,薄膜取向性良好,在掺杂比一定的情况下,随着 Sr^{2+} 含量增加,薄膜结晶的优先取向性随之减弱。

3. 成功测得 KNSBN 薄膜横向电光系数 r_{51} 的数值,其值随 Sr^{2+} 含量增加而增大,当 $\text{Sr}^{2+}/\text{Ba}^{2+} = 9$ 时, r_{51} 值可达到 126.96pm/V 。比 SBN60 单晶的横向电光系数高 2 倍以上。

- [1] Xu R, Xu Y, Chen C J, Mackenzie J D 1990 *J. Mater. Res.* **5** 916
- [2] Zhao J L, Li B L, Zhang P, Yang D X, Li Z W 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 2583 (in Chinese) [赵建林、李碧丽、张 鹏、杨德兴、李振伟 2004 物理学报 **53** 2583]
- [3] Volk T, Isakov D, Ivleva L, Wohlecke M 2003 *Appl. Phys. Lett.* **83** 2220
- [4] Marx J M, Tang Z, Eknayan O, Taylor H F, Neurgaonkar R R 1995 *Appl. Phys. Lett.* **66** 3
- [5] Zhang T H, Lu Y Z, Kang H Z *et al* 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 4688 (in Chinese) [张天浩、路彦珍、康慧珍等 2005 物理学报 **54** 4688]
- [6] Trivedi D, Tayebati P, Tabat M 1996 *Appl. Phys. Lett.* **68** 3227
- [7] Tayebati P, Trivedi D, Tabat M 1996 *Appl. Phys. Lett.* **9** 1023
- [8] Xu Y H, Chen H C, Liu S T 1985 *Jpn. J. Appl. Phys.* **24** (Suppl. 24-2) 278
- [9] Xu Y H, Chen H C 1985 *Acta Phys. Sin.* **34** 133 (in Chinese) [许煜寰、陈焕鑫 1985 物理学报 **34** 133]
- [10] Rouleau C M, Jellison G E, Jr., Beach D B 2003 *Appl. Phys. Lett.* **82** 2990
- [11] Cuniot-Ponsard M, Desvignes J M, Ea-Kim B, Leroy E 2003 *J. Appl. Phys.* **93** 1718
- [12] Ye H, Melanie M T Ho, Mak C L 2002 *Acta Opt. Sin.* **22** 1170 (in Chinese) [叶 辉、Melanie M T Ho、Mak C L 2002 光学学报 **22** 1170]
- [13] Nishio K, Seki N, Thongrueng J 1999 *J. Sol - Gel Sic. and Technol.* **16** 37
- [14] Lu S G, Mak C L, Wong K H 2003 *J. Appl. Phys.* **94** 3422
- [15] Cao X Y, Ye H, Deng N H, Guo B, Gu P F 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 2363 (in Chinese) [曹晓燕、叶 辉、邓年辉、郭 冰、顾培夫 2004 物理学报 **53** 2363]
- [16] Park G, Sel J, Bu S, Song I H 1999 *Solid State Commun.* **111** 125
- [17] Mak C L, Wong B Lai K H, Choy C L, Mo D, Zhang Y L 2001 *J. Appl. Phys.* **89** 4491
- [18] Xu Y H 1991 *Ferroelectric Materials and Their Applications* (Amsterdam : Elsevier) Chap 6 p263-265
- [19] Schwyn Thony S, Youden K E, Harris J S, Jr., Hesselink L 1994 *Appl. Phys. Lett.* **65** 2018
- [20] Adachi H, Kawaguchi T, Setsune K, Ohji K, Wasa K 1983 *Appl. Phys. Lett.* **42** 867
- [21] Sakamoto S, Yazaki T 1973 *Appl. Phys. Lett.* **22** 429
- [22] Forouhi A R, Bloomer I 1995 *SPIE* **126** 2439
- [23] Shen W D, Liu X, Ye H *et al* 2004 *Acta Opt. Sin.* **24** 885 (in Chinese) [沈伟东、刘 旭、叶 辉等 2004 光学学报 **24** 885]
- [24] Shen Z R, Ye H, Mak C L 2005 *Thin Solid Film.* **488** 40
- [25] Jummo K, Changho L, Jae H J, Kwangwoo No, Byeong-Soo B 2000 *Appl. Phys. Lett.* **76** 2671

Electro-optic properties of potassium sodium strontium barium niobate ferroelectric thin films *

Kang Xiang-Zhe Ye Hui

(State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation , Zhejiang University , Hangzhou 310027 , China)

(Received 21 February 2006 ; revised manuscript received 27 March 2006)

Abstract

Fully occupied ferroelectric $(K_x Na_{1-x})_{0.4} (Sr_y Ba_{1-y})_{0.8}$, $0.50 < x < 0.75$, $0.3 < y < 0.9$, KNSBN) thin films with stoichiometric proportions have been successfully grown on MgO (001) substrate by the sol-gel process. Microstructure of the films was studied with X-ray diffraction , X-ray rocking curve , X-ray phi scan and scanning electron microscope. The electro-optic properties of KNSBN films were measured by the method of Adachi. It is found that the KNSBN thin films were *c*-axis epitaxially grown on MgO single crystal substrates. The transverse electro-optic coefficient r_{51} of KNSBN films can be greatly improved by introducing alkali metal ions , the measured values of transverse electro-optic coefficient r_{51} of $K_{0.2} Na_{0.2} Sr_{0.24} Ba_{0.56} Nb_2 O_6$, $K_{0.2} Na_{0.2} Sr_{0.6} Ba_{0.2} Nb_2 O_6$, $K_{0.2} Na_{0.2} Sr_{0.72} Ba_{0.08} Nb_2 O_6$ are 108.52pm/V , 119.98pm/V , and 126.96pm/V , respectively. An enhancement of r_{51} with Sr^{2+} content in KNSBN films has been demonstrated.

Keywords : transverse electro-optic coefficient , KNSBN , epitaxial growth

PACC : 7820J , 7780 , 6855 , 8270G

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60578012) and by the Natural Science Foundation of Zhejiang Province , China (Grant No. x405002).