

# (Bi, La)<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>-Sr(Bi, La)<sub>4</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 共生结构 铁电材料性能研究\*

朱 骏 卢网平 刘秋朝 毛翔宇 惠 荣 陈小兵†

(扬州大学物理科学与技术学院, 扬州 225002)

(2003 年 1 月 8 日收到, 2003 年 1 月 29 日收到修改稿)

采用固相烧结工艺, 制备了不同 La 掺杂量( $x = 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25$  和  $1.50$ )的  $(\text{Bi}, \text{La})_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ - $\text{Sr}(\text{Bi}, \text{La})_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$  ( $\text{SrBi}_{8-x}\text{La}_x\text{Ti}_7\text{O}_{27}$ ) 共生结构铁电陶瓷样品. 用 x 射线衍射对其进行微结构分析, 并测量铁电、介电性能. 结果发现, La 掺杂未改变  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ - $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$  共生结构铁电材料的晶体结构. 随掺杂量的增加, 样品的矫顽场 ( $E_c$ ) 略有增加, 剩余极化 ( $2P_r$ ) 先增大, 后减小. 在  $x = 0.50$  时,  $2P_r$  达到极大值, 为  $25.6 \mu\text{C} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 与  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ - $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$  相比,  $2P_r$  增加了近 60%, 而  $E_c$  仅增加约 10%. 随 La 掺杂量的增加, 样品的居里温度  $T_c$  逐渐降低,  $x = 0.50$  时,  $T_c = 556 \text{ }^\circ\text{C}$ . 在  $x = 1.50$  时, 样品出现弛豫铁电体的典型特征.

关键词:  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ - $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ , La 掺杂, 铁电性能, 居里温度, 弛豫铁电

PACC: 7780, 7780B, 7660E

## 1. 引 言

层状钙钛矿结构铁电 (bismuth layer-structured ferroelectrics, BLSF) 材料, 因其良好的抗疲劳性能, 成为目前铁电存储器应用研究的主要材料<sup>[1]</sup>. 这种材料的通式是  $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{\delta+} (\text{A}_{m-1}\text{B}_m\text{O}_{3m+1})^{\delta-}$ , 其中 A 为 +1, +2 或 +3 价离子, B 为 +3, +4 或 +5 价离子,  $m$  为类钙钛矿层中氧八面体  $\text{BO}_6$  层数, 其中类钙钛矿层  $(\text{A}_{m-1}\text{B}_m\text{O}_{3m+1})^{\delta-}$  与  $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{\delta+}$  层交替排列<sup>[2,3]</sup>. 但 BLSF 薄膜还不能完全满足存储器对材料的要求: 足够大的剩余极化 ( $2P_r$ ), 热稳定性好, 低成膜温度 (小于  $650 \text{ }^\circ\text{C}$ , 与半导体工艺兼容), 最好能做到无疲劳等<sup>[4]</sup>. 目前研究较多的  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  (SBTa) 薄膜虽具有极为优异的抗疲劳性能, 但  $2P_r$  较低, 为  $4\text{--}16 \mu\text{C} \cdot \text{cm}^{-2}$ <sup>[3-5]</sup>, 另一种典型的 BLSF 材料  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  (BIT) 的抗疲劳性能较差<sup>[4,6]</sup>. 近来研究发现, La 系元素掺杂 BIT, 可改善其抗疲劳性能, 并能提高薄膜的  $2P_r$ .  $\text{Bi}_{3.25}\text{La}_{0.75}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{Bi}_{3.15}\text{Sm}_{0.85}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  和  $\text{Bi}_{3.15}\text{Nd}_{0.85}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  薄膜材料的  $2P_r$  分别为  $20 \mu\text{C} \cdot$

$\text{cm}^{-2}$ ,  $49 \mu\text{C} \cdot \text{cm}^{-2}$  和  $103 \mu\text{C} \cdot \text{cm}^{-2}$ <sup>[4,7,8]</sup>, 这引起了国际上对 La 系元素掺杂 BIT 研究的极大兴趣<sup>[9-11]</sup>. 我们的研究发现, 用 La 掺杂另一种 BLSF 材料:  $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ , 也能增大  $2P_r$ , 并可降低材料的矫顽场 ( $E_c$ )<sup>[12]</sup>.

共生结构 (intergrowth) 层状钙钛矿结构铁电材料, 由两种钙钛矿层数不同的 BLSF 组成, 其中两种不同单元沿  $c$  轴方向交替排列<sup>[13-15]</sup>. 如  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ - $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$  (BIT-SBTi,  $m = 3$  A) 在  $c$  轴方向上, 类钙钛矿层  $(\text{A}_{m-1}\text{B}_m\text{O}_{3m+1})^{\delta-}$  与  $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{\delta+}$  层交替排列顺序为  $\dots (\text{Bi}_2\text{O}_2)^{\delta+} (\text{Bi}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10})^{\delta-} (\text{Bi}_2\text{O}_2)^{\delta+} (\text{SrBi}_2\text{Ti}_4\text{O}_{10})^{\delta-} (\text{Bi}_2\text{O}_2)^{\delta+} \dots$ <sup>[16,17]</sup>. 目前对共生结构材料的研究大多集中在微观结构与介电性能上<sup>[13-15]</sup>, 只有 Noguchi 和 Noda 等对 BIT- $\text{MBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$  ( $M = \text{Sr}, \text{Pb}$ ) 的铁电性能做过初步研究<sup>[16-18]</sup>. 发现由于  $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{\delta+}$  层处在两个不同的钙钛矿层之间, 其中的两个  $\text{Bi}^{3+}$  离子距离沿  $a$  轴方向缩短约 2%, 这造成 BIT-SBTi 的  $2P_r$  大于其组成单元 BIT 与 SBTi 材料<sup>[16,18]</sup>. 用两种结构相似的 BLSF 材料形成共生结构, 是一种增大材料  $2P_r$  的新方法. 对组成 BIT-

\* 国家自然科学基金 (批准号: 10274066) 和江苏省教育厅自然科学基金 (批准号: 01KJB140011) 资助的课题.

† 通讯联系人, E-mail: xbchen@yzu.edu.cn

SBTi 共生结构铁电材料的 BIT 与 SBTi 进行 La 掺杂, 都能有效改善铁电性能, 因此, 用 La 掺杂这种共生结构铁电材料, 也可能增大其  $2P_r$ . 本文研究了 La 掺杂量对 BIT-SBTi 共生结构铁电材料的微观结构、铁电与介电性能的影响.

## 2. 实验方法

用传统的固相烧结工艺制备不同 La 掺杂量的 BIT-SBTi 样品 ( $\text{SrBi}_{8-x}\text{La}_x\text{Ti}_8\text{O}_{27}$ : SBLT- $x$ ). 原料为  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ . 按  $x = 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25$  和  $1.50$  配料. 由于 Bi 在高温时易挥发, 为补偿烧结过程中 Bi 的损失, 配料时 Bi 过量 5% wt. 原料球磨 24 h 后加入坩埚中, 预合成 7 h, 温度为  $800\text{ }^\circ\text{C}$ . 再经充分研磨后加入坩埚, 烧结 4 h, 温度为  $1080\text{--}1140\text{ }^\circ\text{C}$ . 用  $x$  射线衍射仪 (M03XHF22 型, Cu 靶,  $\lambda = 0.154056\text{ nm}$ , 功率  $P = 40\text{ kV} \times 40\text{ mA}$ ) 对烧结后的粉末进行微观结构分析. 为得到高密度的陶瓷样品, 将粉末压成直径为  $12\text{ mm}$ , 厚为  $1.0\text{ mm}$  左右的圆片, 经  $1170\text{--}1230\text{ }^\circ\text{C}$  烧结  $1.5\text{ h}$ , 成为片状陶瓷样品, 供介电与铁电性能测量. 将样品分别磨至  $0.1\text{--}0.2\text{ mm}$ ,  $0.7\text{ mm}$  左右, 抛光后涂上氧化银浆, 还原制成银电极, 用铁电性能测试仪 (RT6000A) 测量了样品的电滞回线, 用低频阻抗分析仪 (HP4192A) 测量了样品的介电常数随温度的变化曲线, 确定居里温度  $T_c$ .

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 微观结构

图 1 为烧结以后 SBLT- $x$  粉末样品在常温下的  $x$  射线衍射谱. 由图可以看出, 样品的层状结构钙钛矿共生结构相都已形成, 没有出现焦绿石等其他杂相. 在掺杂量从  $0.00\text{--}1.50$  时,  $x$  射线衍射谱的形状几乎没有变化, 这说明 La 掺杂未改变 BIT-SBTi 的晶体结构, 这是因为  $\text{La}^{3+}$  与  $\text{Bi}^{3+}$  的化合价相同, 且离子半径相近 ( $\text{La}^{3+}$  半径为  $0.106\text{ nm}$ ,  $\text{Bi}^{3+}$  半径  $0.096\text{ nm}$ ). 随  $x$  在  $0.00$  到  $1.00$  变化的过程中, (111), (116), (118) 和 (201) 峰都在向小角度方向移动, 晶格参数变大,  $x = 1.25$  时, 这些衍射峰相对于  $x = 1.00$  时, 几乎没有移动, 而在  $x = 1.50$  时, 衍射峰却向相反方向移动, 晶格参数变小. 在 La 和 Nd 掺杂

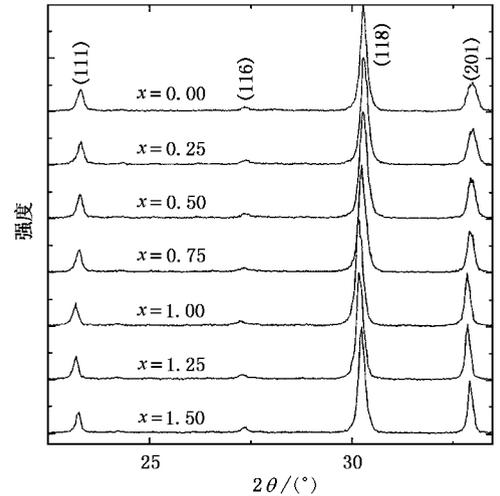


图 1 不同 La 掺杂量  $x$  的  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}\text{-SrBi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{15}$  样品的  $x$  射线衍射谱

BIT 形成  $(\text{Bi}, \text{La})_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  和  $(\text{Bi}, \text{Nd})_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  中, 都发现随掺杂量的增加, (117) 衍射峰先向小角度方向移动, 再向大角度方向移动<sup>[19, 10, 20]</sup>. 而在 La 掺杂 SBTi 时, 发现衍射峰 (117), (119) 等随 La 掺杂量的增加, 向大角度方向移动<sup>[12]</sup>. 我们认为, 衍射峰的移动是由于  $\text{La}^{3+}$  半径略大于  $\text{Bi}^{3+}$ , 取代  $\text{Bi}^{3+}$  后引起微观结构略有变化所致. 在 La 掺杂 BIT-SBTi 中, 衍射峰的移动方向随掺杂量增加而变化可能与  $\text{La}^{3+}$  取代共生结构中 BIT 与 SBTi 单元中的  $\text{Bi}^{3+}$  量的对比以及被取代的  $\text{Bi}^{3+}$  的位置 (是在类钙钛矿层中, 还是在铋氧层中) 有关.

### 3.2. 铁电性能

图 2(a)–(g) 给出了不同 La 掺杂量的 BIT-SBTi 样品在  $150\text{ kV}\cdot\text{cm}^{-1}$  电场下的电滞回线. 可以看出, La 掺杂使样品极化较易饱和, 这与  $\text{La}^{3+}$  金属性强于  $\text{Bi}^{3+}$ , 更加稳定, 取代  $\text{Bi}^{3+}$  后, 抑制了氧空位的产生, 从而减小样品的漏电流有关<sup>[4, 20]</sup>. 随 La 掺杂量的增加, 矫顽场  $E_c$  略有增加, 而剩余极化  $2P_r$  开始时逐渐增大, 在  $x = 0.50$  时, 达到最大值  $25.6\text{ }\mu\text{C}\cdot\text{cm}^{-2}$ , 此时,  $E_c$  由  $x = 0$  时的  $68.4\text{ kV}\cdot\text{cm}^{-1}$  上升为  $74.9\text{ kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ , 这可能与晶格内部相互作用力有关, 相互作用力增大导致  $2P_r$  与  $E_c$  都增大. 掺杂量进一步增加,  $2P_r$  又逐渐下降, 图 2(h) 为  $2P_r$  随 La 掺杂量  $x$  的变化关系曲线. 显然, 适量的 La 掺杂可以改善 SBTi 的铁电性能, SBLT-0.50 与 SBLT-0.00 (BIT-SBTi,  $2P_r = 16.1\text{ }\mu\text{C}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) 相比,  $2P_r$  增大近 60%, 而  $E_c$  只上升

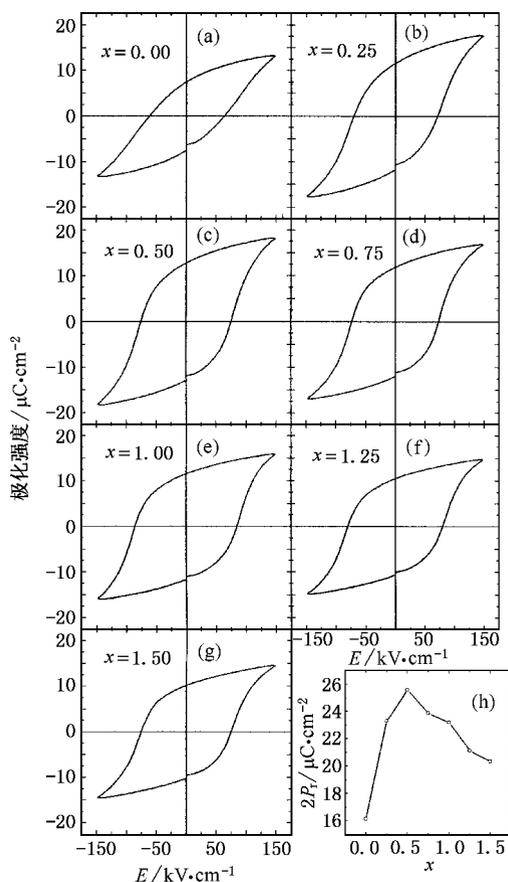


图 2 (a)~(g) SBLT- $x$  样品的电滞回线 (h) SBLT- $x$  样品的  $2P_r$  与 La 掺杂量  $x$  的关系

约 10% 材料铁电性能显著提高. La 掺杂导致 BIT-SBTi 的  $2P_r$  和  $E_c$  的变化, 与其中氧空位的减少、晶格畸变程度的变化, 以及类钙钛矿层微结构变化对  $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^+$  层的影响都有关. 共生结构中, 有两种不同的 BLSF 单元, La 掺杂导致的微结构变化与 BIT-SBTi 相比更加复杂, SBLT- $x$  铁电性能随掺杂量的变化原因还有待研究.

### 3.3. 介电性能及居里温度

BIT-SBTi 的相变是一级相变<sup>[16]</sup>, 居里温度  $T_C$  可以通过测量介电常数实部  $\epsilon$  随温度  $T$  的变化关系得到. 图 3(a) 反映了 La 掺杂 BIT-SBTi 样品, 在测量频率  $f = 100$  kHz 时,  $\epsilon$  随  $T$  的变化关系. 随 La 掺杂量的增加,  $\epsilon$  极大值呈递减趋势, 介电峰逐步宽化, 但在掺杂量  $x \geq 1.00$  时,  $\epsilon$  极大值减小的速度渐缓, 介电峰的宽化也不再明显.  $\epsilon$  极大值对应的温度, 即居里温度  $T_C$  随  $x$  的增大而降低, 这可能与掺杂量增大后晶格畸变减小有关. 我们测量的 BIT-SBTi 的

$T_C$  为  $602$  °C, 略低于文献报到的  $610$  °C. SBLT- $x$  中  $2P_r$  最大的 SBLT-0.50, 其  $T_C = 556$  °C, 大大高于 SB-Ta ( $T_C = 300$  °C) 和 BLT-0.75 ( $T_C = 420$  °C). 可见 SBLT-0.50 具有较好的铁电性能的同时, 也有较好的热稳定性.

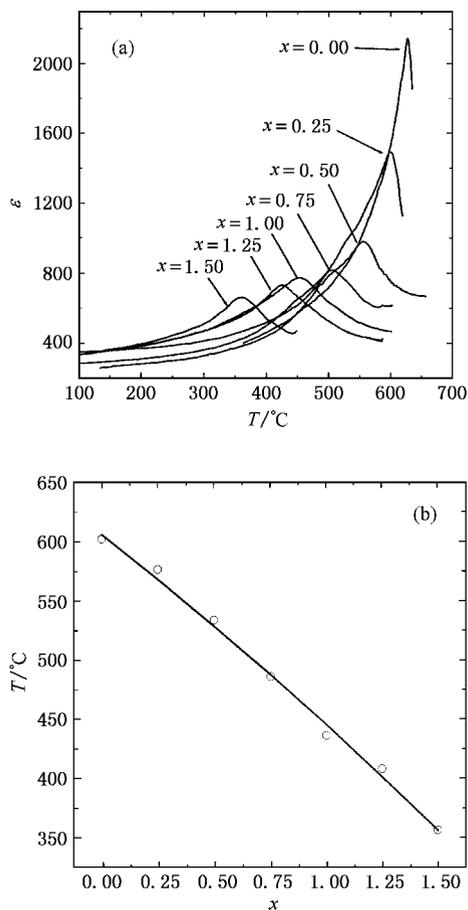


图 3 (a) SBLT- $x$  样品介电常数  $\epsilon$  与温度  $T$  的关系; (b) SBLT- $x$  样品的相变温度  $T_C$  与 La 掺杂量  $x$  的关系

### 3.4. 弛豫铁电

SBLT-1.50 出现了弛豫铁电体的典型特征, 但这在掺杂量低于 1.50 时却未发现. 图 4 为 SBLT-1.50 样品在测量频率  $f$  分别为 5 kHz, 10 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 500 kHz 和 1000 kHz 时,  $T_C$  附近的  $\epsilon$  与  $T$  的变化关系. 随  $f$  的升高, 相变时的  $\epsilon$  值逐渐下降, 且  $\epsilon$  极大值对应的温度从  $354.4$  °C 升高到  $358.8$  °C. La 掺杂量增大导致 SBLT- $x$  出现弛豫铁电性, 这与  $x$  射线衍射谱衍射峰在掺杂量增加至 1.50 时反向移动相对应, 这可能是因为掺杂量为 1.50 时, 材料微观结构出现异常变化.

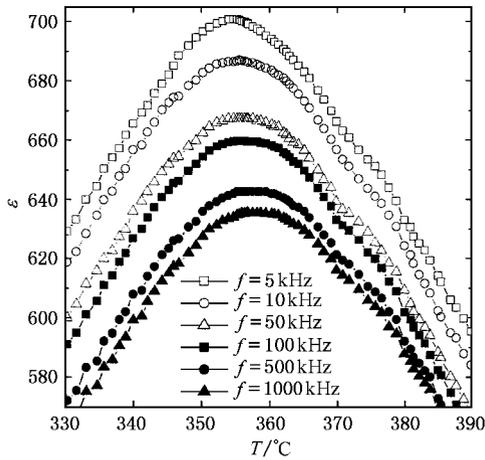


图4 SBLT-1.50 样品在  $T_c$  附近, 不同测量频率  $f$  下  $\epsilon$  与  $T$  的关系

## 4. 结 论

### La 掺杂未改变层状钙钛矿共生结构铁电材料

$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}\text{-SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$  的晶体结构. 掺杂后, 剩余极化  $2P_r$  随掺杂量  $x$  的增加, 先增大, 后减小. 在  $x = 0.50$  时  $2P_r$  达到最大值, 为  $25.6 \mu\text{C} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 这时矫顽场  $E_c = 74.9 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ , 与 BIT-SBTi 相比,  $2P_r$  增大近 60%, 而  $E_c$  只上升约 10%. La 掺杂使  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}\text{-SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$  的铁电性能显著改善. SBLT- $x$  的居里温度  $T_c$  随  $x$  的增加逐渐降低,  $x = 0.50$  时,  $T_c = 556 \text{ }^\circ\text{C}$ . 可见 SBLT-0.50 具有较大的剩余极化的同时, 还具有很好的热稳定性. La 掺杂量增至 1.50 时, 样品出现弛豫铁电性, 这与 x 射线衍射谱衍射峰在此掺杂量下的反向移动相对应, 这说明在掺杂量为 1.50 时, 材料微观结构可能出现异常变化.

用掺杂与形成共生结构这两种手段相结合, 是一种改善铁电材料性能的新的有效方法. 材料的微观结构受共生与掺杂两种因素的影响, 变化较复杂. 掺杂对共生结构 BLSF 材料微观结构的改变, 掺杂量对材料铁电性能的影响以及 SBLT-1.50 出现弛豫铁电性的具体原因都有待于进一步研究.

- [ 1 ] Zhao M L, Wang C L, Zhong W L, Zhang P L and Wang J F 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 420 (in Chinese) [ 赵明磊、王春雷、钟维烈、张沛霖、王矜奉 2002 物理学报 **51** 420 ]
- [ 2 ] Hiroshi Irie, Masaru Miyayama and Tetsuichi Kudo 2001 *J. Appl. Phys.* **90** 4089
- [ 3 ] Yang P X, Deng H M, Zhu J H 1998 *Acta Phys. Sin.* **47** 1222 (in Chinese) [ 杨平雄、邓红梅、褚君浩 1998 物理学报 **47** 1222 ]
- [ 4 ] Park B H, Kang B S, Bu S D, Noh T W, Lee J and Jo W 1999 *Nature* **401** 683
- [ 5 ] Taylor D J, Jones R E, Zurcher P, Chu P, Li Y T, Jiang B and Gillespie S J 1996 *Appl. Phys. Lett.* **68** 2300
- [ 6 ] Joshi P C and Krupanidhi S B 1993 *Appl. Phys. Lett.* **62** 1928
- [ 7 ] Uong Chon, Kim K B, Jang H M and Yi G C 2001 *Appl. Phys. Lett.* **79** 3137
- [ 8 ] Uong Chon, Jang H M, Kim M G and Chang C H 2002 *Phys. Rev. Lett.* **89** 87601
- [ 9 ] Ho Nyung Lee, Dietrich Hesse, Nikolai Zakharov and Ulrich Gösele 2002 *Science* **296** 2006
- [ 10 ] Melgarejo R E, Tomar M S, Bhaskar S, Dobal P S and Katiyar R S 2002 *Appl. Phys. Lett.* **81** 2611
- [ 11 ] Shimakawa Y, Kubo Y, Tauchi Y, Asano H, Kamiyama T, Izumi

F and Hiroi Z 2001 *Appl. Phys. Lett.* **79** 2791

- [ 12 ] Zhu J, Lu W P, Liu Q C, Mao X Y, Hui R and Chen X B 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 1524 (in Chinese) [ 朱 骏、卢网平、刘秋朝、毛翔宇、惠 荣、陈小兵 2003 物理学报 **52** 1524 ]
- [ 13 ] David A. Jefferson, Uppal M K, Rao C N R and Smith D J 1984 *Mat. Res. Bull.* **19** 1403
- [ 14 ] Mercurio D, Trolliard G, Hansen T and Mercurio J P 2000 *International Journal of Inorganic Material* **2** 397
- [ 15 ] Shi Luo, Yuji Nfuguchi, Masaru Miyayama and Tetsuichi Kudo 2001 *Mat. Res. Bull.* **26** 531
- [ 16 ] Yuji Noguchi, Masaru Miyayama and Tetsuichi Kudo 2000 *Appl. Phys. Lett.* **77** 3639
- [ 17 ] Yu Goshima, Yuji Noguchi and Masaru Miyayama 2002 *Appl. Phys. Lett.* **81** 2226
- [ 18 ] Noda M, Toshiyuki Nakaiso, Kentaro Takarabe, Kazushi Kodama and Masanori Okuyama 2002 *Journal of Crystal Growth* **237** 478
- [ 19 ] Takayuki Watanabe, Hiroshi Funakubo, Manabu Mizuhira and Minoru Osada 2001 *J. Appl. Lett.* **90** 6533
- [ 20 ] Hiroshi Uchida, Hiroki Yoshikawa, Isao Okada, Hirofumi Matsuda, Takashi Iijima, Takayuki Watanabe, Takashi Kojima and Hiroshi Funakubo 2002 *Appl. Phys. Lett.* **81** 2229



# A study on the properties of ( Bi , La )<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>-Sr( Bi , La )<sub>4</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>15</sub> intergrowth ferroelectrics \*

Zhu Jun Lu Wang-Ping Liu Qiu-Chao Mao Xiang-Yu Hui Rong Chen Xiao-Bing<sup>†</sup>

( College of Physics Science and Technology , Yangzhou University , Yangzhou 225002 , China )

( Received 8 January 2003 ; revised manuscript received 29 January 2003 )

## Abstract

Lanthanum-doped intergrowth ferroelectrics : ( Bi , La )<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>-Sr( Bi , La )<sub>4</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>15</sub>( SrBi<sub>8-x</sub>La<sub>x</sub>Ti<sub>7</sub>O<sub>27</sub> ) (  $x = 0.00 , 0.25 , 0.50 , 0.75 , 1.00 , 1.25 , 1.50$  ) ceramic samples have been prepared by solid-state reaction method. Their structure was analyzed by x-ray diffraction , and their dielectricity and ferroelectricity were measured. It is found that La doping does not change the crystal structure of Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>-SrBi<sub>4</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>15</sub>. The coercive field (  $E_C$  ) of SrBi<sub>8-x</sub>La<sub>x</sub>Ti<sub>7</sub>O<sub>27</sub> increases slightly and the remnant polarization (  $2P_r$  ) increases at first , then decreases with the increase of La content. The  $2P_r$  reaches a maximum value of  $25.6 \mu\text{C} \cdot \text{cm}^{-2}$  , when  $x$  is 0.50. The  $2P_r$  increases nearly 60% , but the  $E_C$  increases only about 10% , compared with those of SrBi<sub>8</sub>Ti<sub>7</sub>O<sub>27</sub>. Their temperatures of phase transition (  $T_C$  ) decrease with La doping. The  $T_C$  of SrBi<sub>7.5</sub>La<sub>0.50</sub>Ti<sub>7</sub>O<sub>27</sub> is 556 °C and shows good thermal stability. As  $x$  becomes 1.50 , the SrBi<sub>7.5</sub>La<sub>0.50</sub>Ti<sub>7</sub>O<sub>27</sub> exhibits a characteristic of relaxor ferroelectrics.

**Keywords** : Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>-SrBi<sub>4</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>15</sub> , La doping , ferroelectricity , Curie temperature , relaxor

**PACC** : 7780 , 7780B , 7660E

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China ( Grant No. 10274066 ) and the Natural Science Foundation of Education Bureau of Jiangsu Province ( Grant No. 01KJB140011 ).

<sup>†</sup> Corresponding Author , E-mail address : xbchen@yzu.edu.cn.