

# 氧压对 $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ 薄膜晶格常数的影响及 $\text{BaTiO}_3/\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ 超晶格的制备

尚杰 张辉 曹明刚 张鹏翔<sup>†</sup>

(昆明理工大学光电子新材料研究所, 昆明 650093)

(2010年3月16日收到; 2010年4月28日收到修改稿)

采用脉冲激光沉积(PLD)技术,经一系列的优化实验成功地制备了  $\text{BaTiO}_3$  (BT) 和  $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$  (BST) 单层膜. X 射线衍射分析表明,在  $\text{LaAlO}_3$ (001) 单晶衬底上生长的 BT 和 BST 薄膜都是沿 [001] 取向的近外延生长. 且随着氧压在  $10^{-3}$ —25 Pa 范围内逐渐增大, BST 薄膜的晶格常数与氧压之间近似满足 Boltzmann 函数关系. 其次,在此优化条件下还制备出了高质量的 BT/BST 超晶格, AFM 测量表明 BT/BST 超晶格的最大均方根粗糙度仅为 0.3048 nm, 薄膜表面达到了原子尺度的光滑. 另外,在超晶格的 XRD 图谱中还清楚地观察到了卫星峰,根据 (002) 衍射峰周期调制的卫星峰计算了超周期,得到了 BT 和 BST 薄膜的沉积速率. 最后,在倾斜单晶衬底上制备的 BT/BST 超晶格中还首次发现了在 BT 和 BST 单层膜中都没有发现的激光感生热电电压(LITV)效应.

**关键词:** 超晶格, 晶格常数, 激光感生热电电压, 脉冲激光沉积

**PACS:** 68.55.-a, 68.65.Cd, 73.50.Lw, 81.15.Fg

## 1. 引言

近年来,铁电薄膜的研究和应用取得了较大的进展<sup>[1-7]</sup>,尤其是  $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 类钙钛矿铁电薄膜,由于它晶格结构比较简单,又具有良好的铁电、介电、压电和热释电等物理特性,所以备受重视. 在被发现之后很快就被用来做电容器材料,现在作为高频电路元件的 BST 电容器已经是大量生产的产品. 尤其是随着微电子尺寸的不断缩小,高介电常数的 BST 薄膜在微电子器件中起着重要作用,它们可应用于与硅电路集成的动态随机存储器(dynamic random access memory, DRAM)<sup>[8-10]</sup>. 但这些电子器件要求材料在尺寸微型化的基础上,还要保持良好的体材料性质<sup>[11,12]</sup>. 其中,膜厚小于  $0.5 \mu\text{m}$ ,且具有高介电常数、低损耗的铁电(介电)薄膜材料是形成高性能动态随机存储器、薄膜电容器等所必需的. 可是当薄膜厚度小于  $1 \mu\text{m}$ ,尤其是小于  $0.5 \mu\text{m}$  时,薄膜的介电常数相对于体材料会显著减小,因此如何提高薄膜的介电常数受到了物理和材料学家们的广泛关注,成为近年来铁电学研

究最具吸引力的热点问题.

采用超晶格和多层膜的方法被认为是提高薄膜介电常数的有效方法. 宁兆元等<sup>[13]</sup>研究发现利用 PLD 法沉积的不同周期厚度的 BT/BST 多层膜(超晶格),随着周期厚度的减小,其相对介电常数明显增大. 而多层膜(超晶格)相对于单层膜更可以明显增强薄膜的介电常数(如图 1 所示). 多层膜(超晶格)的介电增强是由 Maxwell-Wagner 效应引起的.

既然采用超晶格和多层膜的方法可以提高薄膜的介电常数. 那么,怎样才能降低薄膜的介电损耗呢? 目前的研究发现,沉积氧压是影响薄膜介电损耗的一个主要因素. 因为在 BT/BST 多层膜中氧空穴是主要的载流子,在外加电场作用下,载流子会产生导电电流,消耗掉一部分电能,转为热能,所以降低氧空穴就可降低介电损耗<sup>[14-17]</sup>. 其中,氧空穴的多少可以通过调节镀膜过程中的沉积氧压来解决<sup>[18-21]</sup>. 而且许多研究发现,沉积氧压又在很大程度上影响着薄膜的外延质量以及晶格常数<sup>[22-24]</sup>. 一般情况下,氧压越高,在  $\text{LaAlO}_3$  单晶衬底上生长的 BST 薄膜的晶格常数越小,外延质量越高. 因此,要想制备出高介电常数、低介电损耗的薄

<sup>†</sup> 通讯联系人. E-mail: pxzhang@hotmail.com

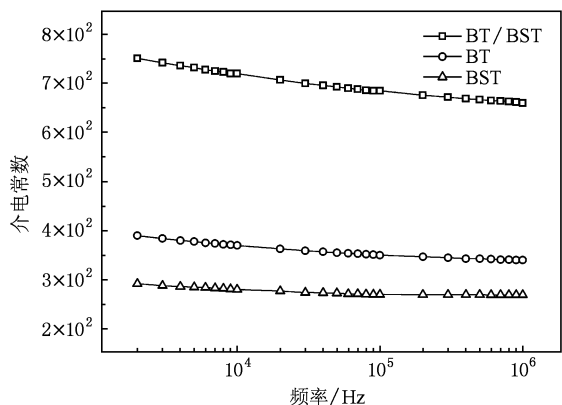


图1 利用 PLD 技术在  $Pt/Ti/SiO_2/Si$  衬底上制备的 BT/BST 多层膜(超晶格)和 BT, BST 单层膜在室温下的介电常数与频率的关系

膜,研究氧压对 BST 薄膜晶格常数的影响及 BT/BST 超晶格的制备是有必要的。

在本文中我们报道了沉积氧压对 BST 薄膜晶格常数的影响以及 BT/BST 系列超晶格的制备技术,并在倾斜  $10^\circ$  的  $LaAlO_3$  单晶衬底上生长的  $[(BT)_{10s}/(BST)_{5s}]_{30}$  超晶格中发现了 LITV 效应。

## 2. 实验

利用 PLD 技术首先在不同氧压下,在  $LaAlO_3$  衬底上分别制备了 BT 和 BST 单层膜,摸索出了它们的最佳沉积氧压. 然后在此沉积氧压下,通过控制沉积时间和交替使用 BT 和 BST 靶,在  $LaAlO_3$  单晶衬底上又生长了  $[(BT)_{18s}/(BST)_{18s}]_{10}$ ,  $[(BT)_{20s}/(BST)_{10s}]_{20}$  和  $[(BT)_{10s}/(BST)_{5s}]_{30}$  超晶格. 沉积时, BT 作为底层, BST 作为顶层, KrF 准分子激光器 (LPX300I 型) 发出 248 nm 波长的紫外脉冲激光,脉冲宽度为 28 ns,重复频率为 5 Hz,经凸透镜聚焦后的能量密度为  $2.0 J/cm^2$ . 基片与靶表面平行,距离为 4.5 cm,本底压强为  $1 \times 10^{-3}$  Pa,基片温度为  $745^\circ C$ ,沉积时的流动氧压保持在 5 Pa. 镀膜后缓慢充氧至 27 Pa,边充氧边降温,降温速率为  $10^\circ C/min$ .

薄膜的晶化特征与结构用 Peking University BDX3200 型 X 射线衍射仪进行测量,测量时用  $Cu K\alpha$  射线做光源 ( $\lambda = 1.54056 \times 10^{-10} m$ ). 薄膜的表面形貌分析采用了美国 Veeco 公司生产的 D3100 型原子力显微镜 (AFM). LITV 信号的测量则利用 KrF 准分子激光做光源(照射到样品曝光面上的能量为

$0.48 mJ/pulse$ ),分别以生长在  $10^\circ$  倾斜的  $LaAlO_3$  单晶衬底上的 BT 和 BST 单层膜,以及  $[(BT)_{10s}/(BST)_{5s}]_{30}$  超晶格作为探测元件,其中单层膜与超晶格的总厚度相同,产生的 LITV 信号由 Tektronix-TDS210 型示波器进行采集,采样频率为 1 GHz,示波器采集的 LITV 信号直接输入到计算机中存储。

## 3. 结果与分析

为了制备出单取向的 BT 和 BST 薄膜,我们首先通过一系列实验,获得了制备具有良好结晶质量的 BT 和 BST 薄膜(如图 2 所示)的最佳生长参数. 在此优化条件下,我们研究了沉积氧压对 BT 和 BST 薄膜的影响。

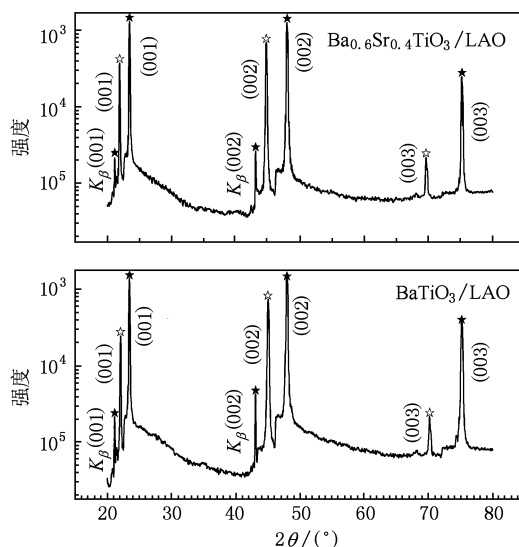


图2  $BaTiO_3$  和  $Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO_3$  薄膜的 XRD 图谱(★)衬底衍射峰,(☆)薄膜衍射峰)

图 3 给出了不同氧压下生长的 BT 和 BST 薄膜的 XRD 图谱. 从该图谱中可以看出,两种薄膜的峰位都发生了相似的变化,且不同氧压下衍射峰的强度不同. 一般情况下,衍射峰的强度越大越尖锐,表明薄膜的晶粒尺寸越大,结晶质量也就越好. 从图谱中还可以看出 5 Pa 时两种薄膜(002)衍射峰的强度最大最尖锐,因此有可能在此氧压下薄膜的结晶质量最好。

为了验证这一点,我们以 BST 薄膜为例,测量了 BST 薄膜(002)衍射峰的摇摆曲线,如图 4 所示. 从图 4 中可以看出,氧压对 BST 薄膜(002)衍射峰的半高宽有很大的影响. 沉积氧压为 5Pa 时(002)

衍射峰的半高宽相对要窄一些,半高宽越窄说明薄膜的结晶质量也就越好,这也验证了 5Pa 确实是

BST 薄膜的最佳沉积氧压.

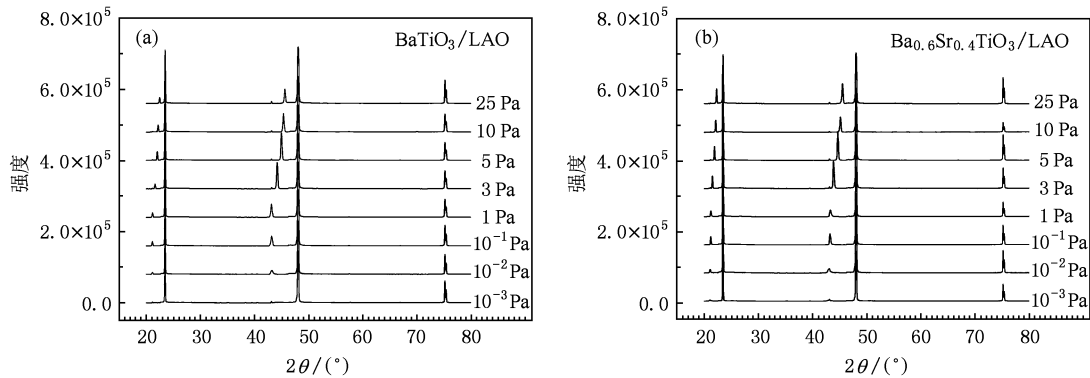


图3 不同氧压下制备的 BaTiO<sub>3</sub> (a) 和 Ba<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>TiO<sub>3</sub> (b) 薄膜的 XRD 图谱

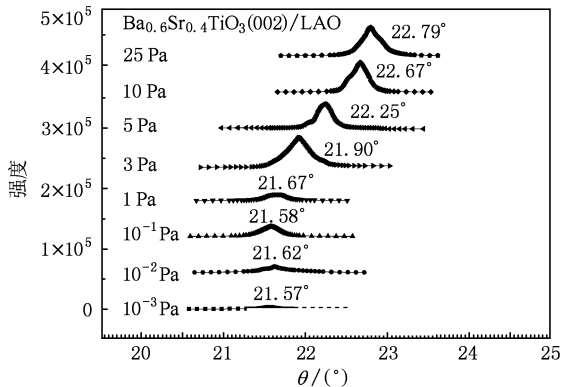


图4 不同氧压下制备的 Ba<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>TiO<sub>3</sub> 薄膜(002)衍射峰的摇摆曲线

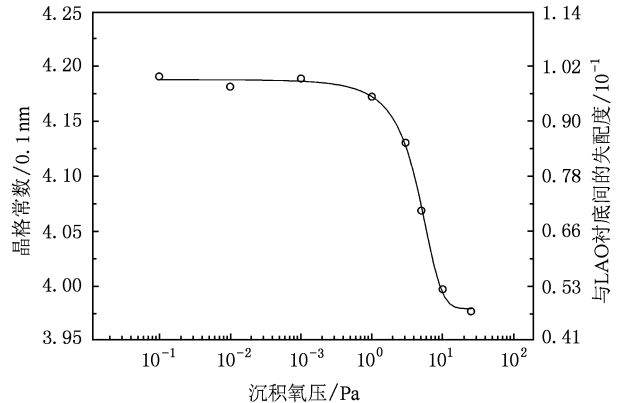


图5 Ba<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>TiO<sub>3</sub> 薄膜的晶格常数和与 LaAlO<sub>3</sub> 衬底间的失配度随氧压的变化规律曲线

那么为什么沉积氧压会影响薄膜的沉积质量呢?这主要是在利用 PLD 法沉积氧化物薄膜的过程中,尽管是在一定的氧气氛中进行的,但薄膜中也常常会产生氧空位.氧压越低,氧空位也就越多.对于 BST 薄膜,氧空位数量的增加会增大晶胞的晶格常数.即通过改变氧压能有效地调节 BST 薄膜与 LaAlO<sub>3</sub> 衬底间的晶格失配度.而且,一般情况下晶格失配度越小,薄膜在衬底上越容易外延生长,薄膜的结晶质量也就越好.

图5 给出了 BST 薄膜的沉积氧压和晶格常数间的拟合曲线,并由外延膜与衬底间的失配度( $\delta$ )定义<sup>[25]</sup>,

$$\delta = 2 | a_s - a_e | / (a_s + a_e),$$

式中  $a_s$  为无应力时衬底的晶格常数(单位为 nm),  $a_e$  为外延膜的晶格常数(单位为 nm).

得到了薄膜与衬底 ( $a_{\text{LaO}} = 3.792 \times 10^{-10}$  m) 间的失配度.从图中可以看出,BST 薄膜的晶格常数与沉积氧压之间近似满足 Boltzmann 函数关系,且当氧压小于 0.1 Pa 时薄膜的晶格常数几乎不变,应处于严重缺氧状态;当氧压大于 25 Pa 时薄膜的晶格常数也将趋于稳定,氧应处于几乎饱和的状态.另外,氧压越大,膜与衬底间的失配度也越小,从理论上讲生长的膜的质量也应该越好,但通过对图 1 和图 2 的分析我们发现最佳的沉积氧压为 5 Pa.这主要是在利用 PLD 法镀膜的过程中,氧压越大,激光烧蚀靶表面时溅射出的等离子体(羽辉)被压缩的越集中,沉积到衬底上的速率也越大,当沉积到衬底表面上的粒子来不及迁移时,就会产生局部聚集,薄膜的生长模式就会由层状生长逐渐变为

岛状生长,在此过程中,薄膜表面粗糙度增大,结晶

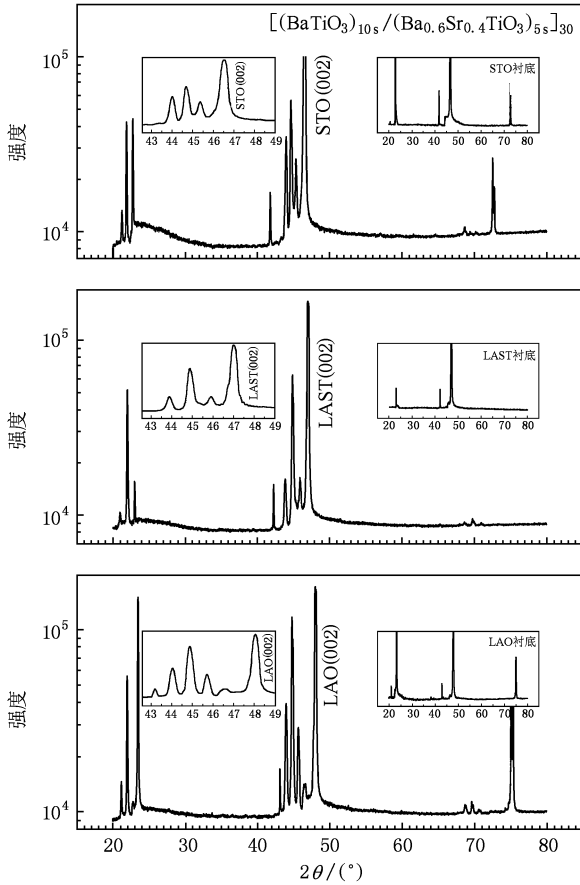


图6 在  $\text{LaAlO}_3$ ,  $(\text{La}, \text{Sr})(\text{Al}, \text{Ta})\text{O}_3$  及  $\text{SrTiO}_3$  三种不同单晶平衬底上生长的  $[(\text{BaTiO}_3)_{10s}/(\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3)_{5s}]_{30}$  超晶格的 XRD 图谱

质量降低,就会使 X 射线衍射峰衰减,摇摆曲线的半高宽变宽,薄膜与衬底间的失配度增大. 另外我们还发现, BST 膜的晶格常数要略大于 BST 靶的晶格常数 ( $a = 3.950 \times 10^{-10} \text{ m}$ ), 这可能是由膜中的间隙、氧空穴和/或其它缺陷造成的<sup>[16]</sup>.

通过对 BT 和 BST 单层膜生长参数,特别是沉积氧压的研究,我们摸索出了 BT/BST 超晶格的最佳制备条件. 在此优化条件下,我们首先在  $\text{LaAlO}_3$ ,  $(\text{La}, \text{Sr})(\text{Al}, \text{Ta})\text{O}_3$  及  $\text{SrTiO}_3$  三种不同的单晶平衬底上生长了  $[(\text{BT})_{10s}/(\text{BST})_{5s}]_{30}$  超晶格,如图 6 所示. 从图上我们可以明显看到 (002) 衍射峰的卫星峰依次等间距地出现 (详见插入的小图), 这说明薄膜为周期调制结构的超晶格,并且超周期间界面的平整度达到了原子尺度的光滑 (如图 7 所示), 薄膜表面颗粒排布致密、均匀、最大均方根粗糙度仅为 0.3048 nm.

接下来,我们又在  $\text{LaAlO}_3$  单晶平衬底上生长了  $[(\text{BT})_{18s}/(\text{BST})_{18s}]_{10}$  和  $[(\text{BT})_{20s}/(\text{BST})_{10s}]_{20}$  超晶格,如图 8 所示. 利用 Schuller 公式<sup>[26]</sup>

$$d = \frac{\lambda}{2(\sin\theta_{\mu+1} - \sin\theta_{\mu})}$$

式中  $d$  为超晶格的周期厚度 (单位为 nm),  $\lambda$  为 X 射线的波长 (单位为 nm),  $\theta_{\mu+1}$  和  $\theta_{\mu}$  为两相邻第一调制峰的最大值所对应的衍射角度 (单位为度).

从图 8 中所示两种超晶格卫星峰的分布计算了它们的超周期,进而得到了我们利用 PLD 法生长 BST 和 BT 薄膜时的沉积速率,分别为  $1.8254 \text{ \AA/pulse}$  和  $1.8032 \text{ \AA/pulse}$ , 计算过程如表 1 所示.

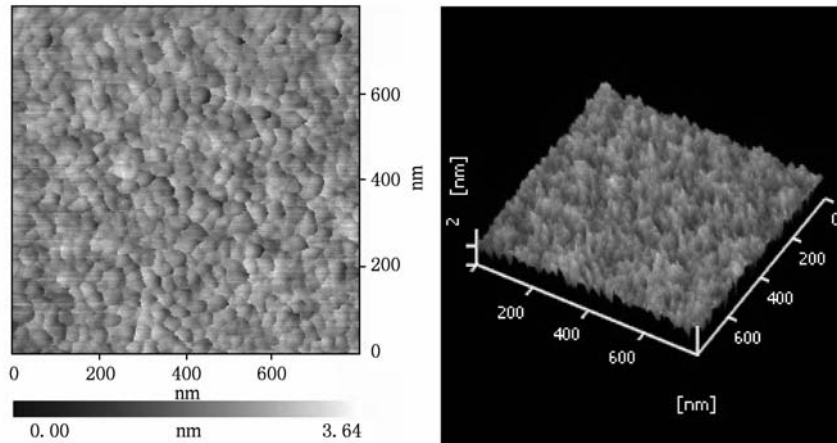


图7 生长在  $\text{LaAlO}_3$  单晶平衬底上的  $[(\text{BaTiO}_3)_{10s}/(\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3)_{5s}]_{30}$  超晶格的 AFM 图

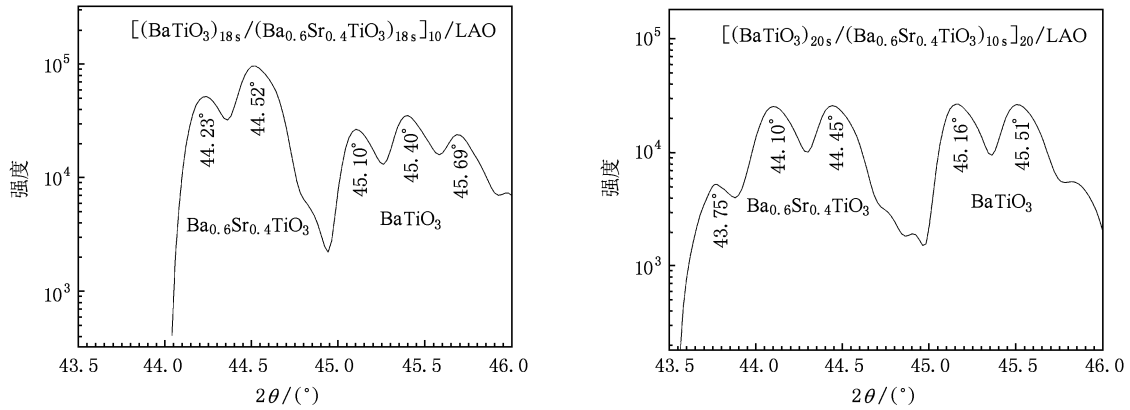


图8 在 LaAlO<sub>3</sub> 单晶平衬底上生长的 [(BaTiO<sub>3</sub>)<sub>18s</sub>/(Ba<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>TiO<sub>3</sub>)<sub>18s</sub>]<sub>10</sub> 和 [(BaTiO<sub>3</sub>)<sub>20s</sub>/(Ba<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>TiO<sub>3</sub>)<sub>10s</sub>]<sub>20</sub> 超晶格的 XRD 图谱

表1 BaTiO<sub>3</sub> 和 Ba<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>TiO<sub>3</sub> 薄膜沉积速率的计算

项目	$\theta$						$d = \lambda/2(\sin\theta_{\mu+1} - \sin\theta_{\mu})$			
	BT		BST				BT	BST		
	$\theta_{BT1}$	$\theta_{BT2}$	$\theta_{BT3}$	$\theta_{BST1}$	$\theta_{BST2}$	$\theta_{BST3}$	$d_{BT1}$	$d_{BT2}$	$d_{BST1}$	$d_{BST2}$
[(BT) <sub>18s</sub> /(BST) <sub>18s</sub> ] <sub>10</sub>	22.115°	22.260°	—	22.550°	22.700°	22.845°	328.71 Å	—	318.76 Å	330.10 Å
							$\bar{d}_{BT}$		$\bar{d}_{BST}$	
							328.71 Å		324.43 Å	
							271.93 Å	272.26 Å	265.71 Å	—
[(BT) <sub>20s</sub> /(BST) <sub>10s</sub> ] <sub>20</sub>	21.875°	22.050°	—	22.225°	22.580°	22.755°	$\bar{d}_{BT}$		$\bar{d}_{BST}$	
							272.10 Å		273.30 Å	

因为超晶格的周期厚度:  $\bar{d} = (\bar{d}_{BT} + \bar{d}_{BST})/2 = t_{BT} f_{BT} \bar{l}_{BT} + t_{BST} f_{BST} \bar{l}_{BST}$  所以,  
 计算  $\begin{cases} 18 \times 5 \times \bar{l}_{BT} + 18 \times 5 \times \bar{l}_{BST} = (328.71 + 324.43)/2 \\ 20 \times 5 \times \bar{l}_{BT} + 10 \times 5 \times \bar{l}_{BST} = (272.10 + 273.30)/2 \end{cases}$  解得  $\bar{l}_{BT} = 1.8254 \text{ \AA/pulse}$ ,  $\bar{l}_{BST} = 1.8032 \text{ \AA/pulse}$ .

注:式中  $\bar{d}_{BT(BST)}$  为通过 BT(BST) 的调制峰得到的超晶格每一周期的厚度(理论上,  $\bar{d}_{BT} = \bar{d}_{BST}$ ),  $t_{BT(BST)}$  为镀每一层 BT(BST) 膜的时间,  $f_{BT(BST)}$  为镀 BT(BST) 膜的频率,  $\bar{l}_{BT(BST)}$  为每个脉冲镀 BT(BST) 膜的厚度.

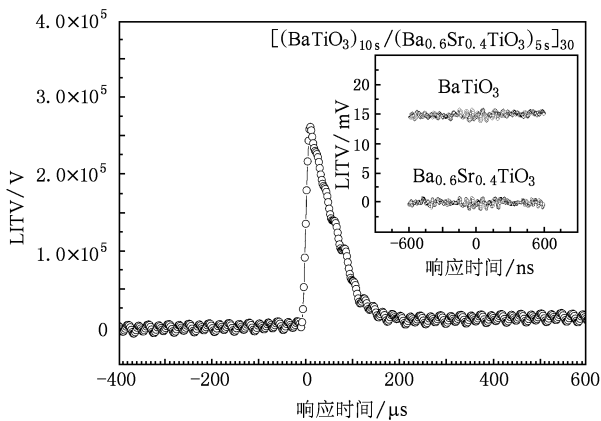


图9 在 10° 倾斜的 LaAlO<sub>3</sub> 单晶衬底上生长的 [(BaTiO<sub>3</sub>)<sub>10s</sub>/(Ba<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>TiO<sub>3</sub>)<sub>5s</sub>]<sub>30</sub> 超晶格的 LITV 信号曲线

最后,我们在 10° 倾斜的 LaAlO<sub>3</sub> 单晶衬底上制

备的 [(BT)<sub>10s</sub>/(BST)<sub>5s</sub>]<sub>30</sub> 超晶格薄膜中还首次发现了在相同单晶衬底上制备的 BT 和 BST 单层膜种都没有发现的激光感生电压 (LIV) 效应,如图 9 所示. 并且这种信号在 LaAlO<sub>3</sub> 单晶平衬底上制备的超晶格中也没有被测量到,因此我们判断这是热电信号,说明在这种人造的超晶格中具有单层膜中所没有的 LITV 效应. 这为基于 LITV 效应的新型光、热辐射探测器的研制和开发提供了一些参考.

#### 4. 结 论

利用 PLD 技术在单晶衬底上制备出了高质量的 BT 和 BST 单层膜以及 BT/BST 系列的超晶格, AFM 测量表明 BT/BST 超晶格表面的最大均方根粗糙度仅为 0.3048 nm. 研究了氧压对 BST 薄膜晶格

常数的影响,发现沉积氧压为 5Pa 时薄膜的结晶质量最好. 其次,在  $\text{LaAlO}_3(100)$  单晶衬底上制备的超晶格的 XRD 图谱中还清楚地观察到了卫星峰,并从卫星峰的分布计算出了我们利用 PLD 法生长

BST 和 BT 薄膜时的沉积速率,分别为  $1.8254\text{\AA}/\text{pulse}$  和  $1.8032\text{\AA}/\text{pulse}$ . 最后,我们在  $10^\circ$  倾斜的  $\text{LaAlO}_3$  单晶衬底上制备的  $[(\text{BT})_{10s}/(\text{BST})_{5s}]_{30}$  超晶格薄膜中还首次发现了 LITV 效应.

- [1] Cao W W, Lü T Q, Xie W G, Zhou J 2009 *Chin. Phys. B* **18** 3054
- [2] Cui L, Lü T Q, Sun P N 2009 *Chin. Phys. B* **18** 1658
- [3] Li J J, Yu J, Li J, Yang W M, Wu Y Y, Wang G B 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 1246 (in Chinese) [李建军、于军、李佳、杨卫明、吴云翼、王耘波 2009 物理学报 **58** 1246]
- [4] Wang L H, Yu J, Wang Y B, Cao J X, Zhao S L 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 1207 (in Chinese) [王龙海、于军、王耘波、高俊雄、赵素玲 2008 物理学报 **57** 1207]
- [5] Aulika I, Pokorny J, Zauls V, Kundzins K, Rutkis M, Petzelt J 2008 *Optical Materials* **30** 1017
- [6] Scarisoreanu N, Filipescu M, Ioachim A, Toacsan M I, Banciu M G, Nedelcu L, Dutu A, Buda M, Alexandru H V, Dinescu M 2007 *Applied Surface Science* **253** 8254
- [7] Benoit G, Julie G, Emmanuel D, Pierre G, David W, Bernard A, Frédéric L, Roland P, Xavier G, Marc A 2007 *Journal of the European Ceramic Society* **27** 3851
- [8] Scott J F, Annu 1998 *Rev. Mater. Sci.* **28** 79
- [9] Takasu H 2000 *J. Electroceram.* **4** 327
- [10] Cheng H F 1996 *J. Appl. Phys.* **79** 7965
- [11] Lariviere G P, Frigerio J M, Rivory J, Abeles F 1992 *Appl. Opt.* **31** 6509
- [12] Borgogno J P, Flory F, Roche P, Schmitt B, Albert G, Pelletier E, Macleod H A 1984 *Appl. Opt.* **23** 3567
- [13] Ning Z Y, Jing M F, Xin Y, Ye C 2008 *Thin Solid Film Materials and Preparation Technology* (Beijing: Science Press) p108 (in Chinese) [宁兆元、江美福、辛煜、叶超 2008 固体薄膜材料与制备技术(北京:科学出版社)第 108 页]
- [14] Wu H D, Barnes F S 1998 in: O. Auciello (Ed.), *Integrated Ferroelectrics, Proceedings of the 10th International Symposium on Integrated Ferroelectrics*, Monterey, U. S. A, March 1—4 **22** 291
- [15] Horwitz J S, Chang W, Carter A C, Pond J M, Kirchoefer S W, Chrisey D B, Levy J, Hubert C 1998 in: O. Auciello (Ed.), *Integrated Ferroelectrics, Proceedings of the 10th International Symposium on Integrated Ferroelectrics*, Monterey, U. S. A, March 1—4 **22** 279
- [16] Jain M, Majumder S B, Katiyar R S, Miranda F A, Van Keuls F W 2003 *Appl. Phys. Lett.* **82** 1911
- [17] Joshi P C, Cole M W 2000 *Appl. Phys. Lett.* **77** 289
- [18] Kim W J, Chang W, Qadri S B, Pond J M, Kirchoefer S W, Chrisey D B, Horwitz J S 2000 *Appl. Phys. Lett.* **76** 1185
- [19] Hubert C, Levy J, Rivkin T V, Carlson C, Parilla P A, Perkins J D, Ginley D S 2001 *Appl. Phys. Lett.* **79** 2058
- [20] Kim W J, Wu H D, Chang W, Qadri S B, Pond J M, Kirchoefer S W, Chrisey D B, Horwitz J S 2000 *J. Appl. Phys.* **88** 5448
- [21] Navi N, Kim H, Horwitz J S, Wu H D, Qadri S B 2003 *Appl. Phys. A* **76** 841
- [22] Ding Y P, Wu J S, Meng Z Y, Chan H L, Choy Z L 2002 *Materials Chemistry and Physics* **75** 220
- [23] Park B H, Gim Y, Fan Y, Jia Q X, Lu P 2000 *Appl. Phys. Lett.* **77** 2587
- [24] Carlson C M, Rivkin T V, Parilla P A, Perking J D, Ginley D B, Kozyrev A B, Oshadchy V N, Pavlov A S 2000 *Appl. Phys. Lett.* **76** 1920
- [25] Lebedev O I, Hamet J F, Van Tendeloo G, Beaumont V, Raveau B 2001 *J. Appl. Phys.* **90** 5261
- [26] Schuller Y K 1980 *Phys. Rev. B* **24** 1597

# Influence of oxygen pressure on the lattice constants of $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ thin films and preparation of $\text{BaTiO}_3/\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ superlattices

Shang Jie Zhang Hui Cao Ming-Gang Zhang Peng-Xiang<sup>†</sup>

( Institute of Advanced Materials for Photo-electronics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China )

( Received 16 March 2010; revised manuscript received 28 April 2010 )

## Abstract

Using pulsed laser deposition (PLD) technology,  $\text{BaTiO}_3$  (BT) and  $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$  (BST) single-layer films were successfully prepared through a series of optimization experiments. X-ray diffraction investigations indicated that BT and BST thin films were nearly (001)-epitaxially grown on  $\text{LaAlO}_3$  (001) substrates. And functional relation between the lattice constants of BST thin films and the oxygen pressure was close to Boltzmann function from  $10^{-3}$  to 25 Pa. Then the high-quality BT/BST superlattices were also prepared under these optimal conditions. The surface topography measurement by atomic force microscopy (AFM) demonstrated that the root-mean-square (RMS) roughness of BT/BST superlattice was only 0.3048 nm. The surface smoothness has achieved the atomic scale. In addition, satellite peaks were clearly observed in the XRD spectrum. According to the position of satellite peaks that belong to (002) diffraction peak, the superperiod of superlattices was calculated and the deposition rates of BT and BST thin films were deduced. Finally, laser induced thermoelectric voltage (LITV) effect was measured for the first time in BT/BST superlattices grown on vicinal-cut single crystal substrates, which was not found in BT and BST single-layer films.

**Keywords:** superlattices, lattice constant, laser induced thermoelectric voltage, pulsed laser deposition

**PACS:** 68.55.-a, 68.65.Cd, 73.50.Lw, 81.15.Fg

---

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail: pxzhang@hotmail.com