

# (111)择优取向的 $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ 铁电 薄膜的制备及研究\*

郑分刚<sup>1)†</sup> 陈建平<sup>2)</sup> 李新碗<sup>2)</sup>

1) 苏州大学物理科学与技术学院, 苏州 215006)

2) 上海交通大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 上海 200030)

(2005 年 12 月 8 日收到, 2005 年 12 月 14 日收到修改稿)

选用不同浓度的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  溶胶, 用 Sol-gel 法在 Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si 基片上沉积一层厚度不同的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  (PZT52) 过渡层, 经 400°C 烘烤、550°C 退火等程序后, 再用 Sol-gel 法在 PZT52 过渡层上沉积  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜. XRD 分析表明, 有 PZT52 过渡层的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜具有 (111) 择优取向的钙钛矿结构, 且随着过渡层厚度的增加,  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜的 (111) 择优取向程度越高. SEM 分析表明, 当 PZT52 过渡层的厚度达到 14nm 以上,  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜结晶程度得到明显改善, 平均晶粒尺寸大大增加. 介电、铁电性能测试表明, 与没有过渡层的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜相比, 有 PZT52 过渡层的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜具有较大的介电常数和剩余极化强度, 而介电损耗则较小.

关键词: PZT 铁电薄膜, 择优取向, 过渡层, 剩余极化强度

PACC: 7755, 7780, 7785

## 1. 引 言

近年来, 铁电薄膜由于其存储器、光电器件领域的潜在应用得到广泛研究与极大关注<sup>[1-4]</sup>. 为了保证铁电器件具有理想的性能, 要求铁电材料具有较大的剩余极化和较低的矫顽场.  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  (PZT52) 铁电薄膜由于其优异的介电、铁电性能而成为首选材料之一. 目前, 择优取向结构的铁电薄膜的制备与研究引起了人们的广泛兴趣. 影响薄膜择优取向的因素有很多, 其中衬底是主要的因素之一. 通过选择不同的衬底材料以及改变衬底的结构, 可以直接改变铁电薄膜的择优取向结构, 从而改善薄膜的介电及铁电性能. 制备 PZT 薄膜, 常用的衬底材料是 Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si 基片, 为了解决由于 Pt 电极的使用而导致铁电薄膜出现老化、疲劳等问题, 过渡层被认为是方便有效的手段之一. 选择过渡层材料, 需要考虑的首要因素是过渡层与 PZT 薄膜的晶胞参数

的是否匹配. 各种氧化物如 SiO<sub>2</sub>, SrRuO<sub>3</sub> 和 LaNiO<sub>3</sub> 等<sup>[5-9]</sup> 作为过渡层的 PZT 铁电薄膜的其他性能得到改善的同时, 介电损耗将会增加<sup>[5-7]</sup>. 采用与 PZT 具有类似的钙钛矿结构的 PT、PLT 材料作为过渡层, 由于 PT、PLT 过渡层的随机取向以及 PT、PLT 相对较低的介电常数, 往往影响 PZT 薄膜的性能的改善<sup>[8,9]</sup>.

本文选用不同浓度 (0.05, 0.1 和 0.2 mol·L<sup>-1</sup>) 的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  溶胶, 采用 Sol-gel 法在 Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si 基片上沉积一层厚度不同的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  (PZT52) 过渡层, 然后在 PZT52/Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si 上沉积  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜, 由于过渡层和薄膜是同一种材料, 因此晶胞参数的失配问题将减小到最低程度. 为了与没有过渡层的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜相比较, 采用同样的制备方法直接在 Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si 基片上沉积  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜. 所有  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜的沉积则采用同一种浓度 (0.2 mol·L<sup>-1</sup>) 的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  溶胶.

\* 国家自然科学基金 (批准号: 90204006, 60377013, 10204016) 和国家 863 计划 (批准号: 2002AA122022) 资助的课题.

† E-mail: zh200100@sohu.com

## 2. 实 验

### 2.1. $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ 溶胶的制备

首先,将醋酸铅溶解在无水乙酸中,溶液加热到  $110^\circ\text{C}$ , 去掉醋酸铅所带的结晶水. 钛酸丁酯和锆酸丁酯按一定的计量比 ( $\text{Zr}:\text{Ti} = 52:48$ , 摩尔比) 混合, 溶解在乙二醇甲醚中并加热搅拌, 待混合溶液的温度达到  $90^\circ\text{C}$  时, 缓慢加入醋酸铅溶液, 并搅拌 60min, 形成清澈透明的溶胶 ( $\text{Pb}:\text{Zr}:\text{Ti} = 110:52:48$ , 摩尔比. 过量 10% 的醋酸铅, 是为了补偿在退火过程中的铅挥发). 这样得到的溶胶非常稳定, 在干燥瓶中放置一年以上而不出现浑浊. 为了便于甩胶, 还必须加入适量乙二醇甲醚溶剂, 调节溶胶的浓度, 得到 3 种浓度  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  溶胶, 浓度分别为  $0.05$ ,  $0.1$  和  $0.2\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

### 2.2. $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ 过渡层的制备

$\text{Pt}/\text{Ti}/\text{SiO}_2/\text{Si}$  基片经过超声清洗后作为基底, 3 种不同浓度的 PZT52 溶胶被分别涂在三片  $\text{Pt}/\text{Ti}/\text{SiO}_2/\text{Si}$  基片上, 匀胶转速为  $3000\text{r}/\text{min}$ , 时间 20s, 只匀胶一次. 匀胶后, 首先在  $100^\circ\text{C}$  的温度下烘烤 10min, 然后放在  $400^\circ\text{C}$  的管式炉中保温 30min, 去掉薄膜中的有机溶剂, 最后 PZT52 过渡层在大气环境中放在  $550^\circ\text{C}$  管式炉中退火 60min. 升温 and 降温速率都控制在  $3\text{--}4^\circ\text{C}/\text{min}$  左右. 用这样的方法, 我们得到了 3 种不同厚度的 PZT52 过渡层, 厚度大约分别为 7, 14 和 28nm.

### 2.3. $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ 薄膜的制备

采用  $0.2\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的 PZT52 溶胶, 在不同厚度的过渡层上沉积  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜, 匀胶过程与制备 PZT52 过渡层相同. 每次匀胶后, 首先在  $100^\circ\text{C}$  的温度下烘烤 10min, 然后放在  $400^\circ\text{C}$  的管式炉中保温 30min, 形成 PZT52 非晶薄膜; 如此重复 10 次, 最后 PZT52 非晶薄膜在  $650^\circ\text{C}$  管式炉中退火 60min. 升温 and 降温速率同样控制在  $3\text{--}4^\circ\text{C}/\text{min}$  左右. 这样, 我们得到了 3 个样品: PZT52-1(7nm 过渡层), PZT52-2(14nm 过渡层) 和 PZT52-3(28nm 过渡层). 采用同样的方法直接在  $\text{Pt}/\text{Ti}/\text{SiO}_2/\text{Si}$  基片上沉积  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜 PZT52-0(没有过渡层). 所有四个样品都具有大致相同的 280nm 左右的厚度.

### 2.4. $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ 薄膜的结构及性能分析

用 XRD 分析薄膜的结构; Hitachi S-5750 扫描电子显微镜观察薄膜的表面形貌及薄膜厚度; 为了测量薄膜的介电性质, 采用磁控溅射的方法在薄膜的上表面沉积金属 Pt 作为上电极, 直径  $0.4\text{mm}$ ; HP4294 阻抗分析仪测量薄膜的介电常数与介电损耗; RT6000 测量薄膜的电滞线.

## 3. 结果与讨论

### 3.1. $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ 薄膜结构分析

图 1 给出了不同厚度 PZT52 过渡层以及  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜的 XRD 图. 从图 1(a) 中可以看出, 不管有没有过渡层,  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜均为纯的钙钛矿结构, 没有焦绿石相出现, 但是, 没有 PZT52 过渡层的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜, 并不以某个方向择优取向, 而有 PZT52 过渡层的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜, 则均以 (111) 择优取向, 并且随着过渡层的厚度的增加 (111) 择优取向程度越高. 在我们的样品中, PZT52 过渡层是在  $550^\circ\text{C}$  的温度下退火, PZT52 过渡层均以 (111) 择优取向, 如图 1(b) 所示, 这主要是由于  $\text{Pt}/\text{Ti}/\text{SiO}_2/\text{Si}$  基片上存在的  $\text{Pt}_3\text{Ti}$  的作用<sup>[10,11]</sup>. 从图 1(b) 中还可以看到, 随着 PZT52 过渡层的厚度的增加, 过渡层 (111) 峰增强的同时 (100) 峰也会出现. 在我们的实验中还发现, 如果过渡层厚度增加到 64nm, 过渡层的 (111) 择优取向将不明显 (图 1 中未给出), 这势必会影响  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜的择优取向, 因此选用 PZT52 作为过渡层, 厚度不宜太厚. 当  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜在  $650^\circ\text{C}$  退火时, 由

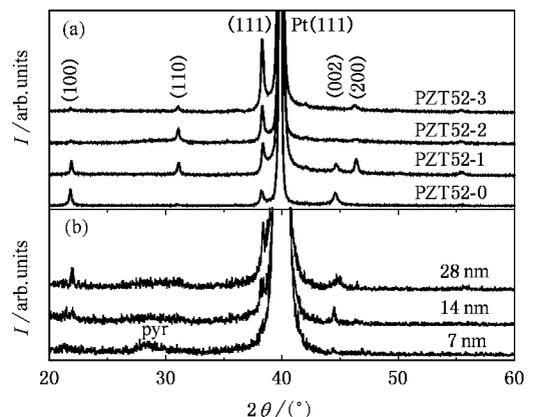


图 1 不同厚度 PZT52 过渡层以及  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜的 XRD 图

于过渡层是(111)择优取向的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜将(111)择优取向. 如果过渡层不能提供足够多的(111)择优取向的籽晶, 那么  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜也会沿着(100)和(110)方向生长. 这就是为什么当 PZT52 过渡层的厚度是 7nm 时,  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜(111)择优取向并不十分显著.

### 3.2. $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ 薄膜 SEM 分析

图 2 是不同厚度 PZT52 过渡层的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜的 SEM 图: PZT52-0, PZT52-1, PZT52-2 和 PZT52-3 薄膜分别对应图 2 中(a)(b)(c)和(d). 比较图 2 中的(a)和(b), PZT52-1 薄膜的表面形貌与

PZT52-0 薄膜相比几乎没有差别, 然而仔细观察图 2(b), PZT52-1 薄膜的表面有一些“鼓包”, 我们认为这是由于 PZT52 过渡层提供的籽晶所致, 但是由于过渡层只有大约 7nm, 能够提供的籽晶并不多. 当 PZT52 过渡层的厚度增加时, 过渡层中的“籽晶”会越来越多, 从图 2(c)和图(d)可以看到, PZT52-2 和 PZT52-3 薄膜的结晶程度大大改善, 平均晶粒直径远大于 PZT52-0 薄膜. 在图 2(c)中, 还可以观察到大的晶粒之间, 镶嵌了一些小的晶粒, 我们认为主要是因为 PZT52 过渡层的厚度比较薄而没有形成连续的过渡层薄膜. 图 2(d)中并没有出现类似现象, 这时 PZT52 过渡层的厚度已经足以使得过渡层形成连续的薄膜.

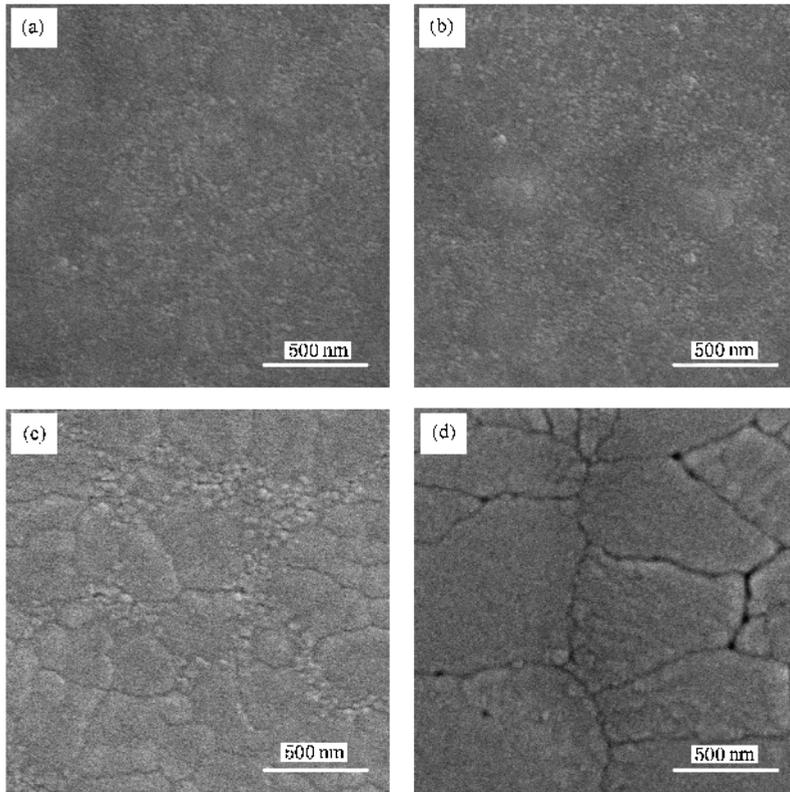


图 2 不同厚度 PZT52 过渡层的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜的 SEM 图

### 3.3. $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ 薄膜介电频谱

在常温下, 用 HP4294 阻抗分析仪测量薄膜的介电常数与介电损耗随频率的变化关系. 图 3 给出了不同厚度 PZT52 过渡层的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜的介电频谱, 频率范围从 100Hz 到 1MHz. 从图 3 可以看到, 所有样品的介电常数  $\epsilon_r$  都随着频率的增加而下降, 这可以解释为部分极化跟不上外加电场的

变化而失去对介电常数的贡献. 当频率增加到 1MHz 时, 介电常数急剧下降, 同时介电损耗大大增加, 这主要是由于测试系统的谐振引起的, 这种现象对于介电常数大的样品更容易发生. 文献 [10, 12] 报道过类似的现象. 与 PZT52-0 ( $\epsilon_r = 716$ ,  $f = 1\text{kHz}$ ) 薄膜相比, PZT52-1 的介电常数 ( $\epsilon_r = 790$ ,  $f = 1\text{kHz}$ ) 并没有明显提高, 这主要是由于无论是结晶程度还是择优取向, PZT52-1 薄膜并没有明显改善. 当 PZT52 过渡

层的厚度增加到 14nm 以上时, PZT52-2 和 PZT52-3 薄膜的结晶程度和(111)择优取向均明显改善, 因此, 介电常数大大高于没有过渡层的 PZT52-0 薄膜<sup>[13, 14]</sup>. 特别是 PZT52-3 薄膜, 介电常数达到了 1278 ( $f = 1\text{kHz}$ ), 介电损耗减小到 0.023 ( $f = 1\text{kHz}$ ). 文献 [10] 报道了直接在 550°C 温度下退火生长的(111)择优取向  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47})\text{O}_3$  薄膜的介电常数为 410, 我们的样品介电常数比文献 [10] 提高很多, 我们认为主要是由于 650°C 温度下退火, PZT 薄膜的结晶程度要好于 550°C 温度下退火.

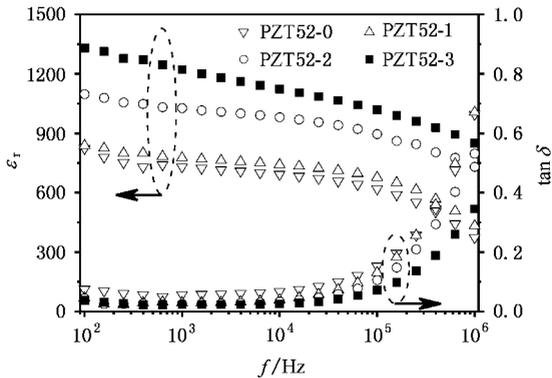
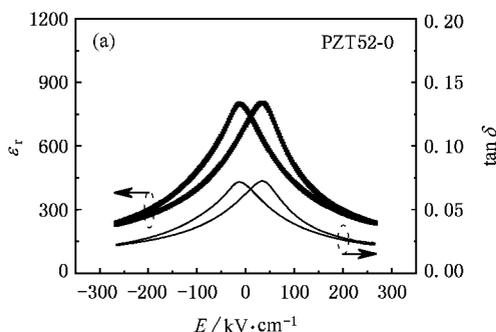


图 3 不同厚度 PZT52 过渡层的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜的介电频谱图

### 3.4. $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ 薄膜 $\epsilon$ - $V$ 特性

用 HP4294 阻抗分析仪测量薄膜的介电常数与介电损耗随外加电场的变化关系. 图 4 给出了常温下的 PZT52-0 和 PZT52-3 薄膜的  $\epsilon$ - $V$  特性 ( $f = 1\text{kHz}$ ). 从图 4 可以看出, 在偏压正向扫描和负向扫描的过程中, 当外加电场达到矫顽场时, 介电常数分别出现一次极大值, 使  $\epsilon$ - $V$  曲线呈现典型的双峰特性. (111) 择优取向的 PZT52-3 薄膜的介电常数极大值 ( $\epsilon_{\text{max}} = 1471$ )、调制度 ( $\eta = (\epsilon_{\text{max}} - \epsilon_{\text{min}}) / \epsilon_{\text{max}} = 78\%$ ) 均要大于随机取向的 PZT52-0 薄膜 ( $\epsilon_{\text{max}} =$



798,  $\eta = 69\%$ ). 这主要是因为 PZT52 过渡层的存在, PZT52-3 薄膜的结晶程度和(111)择优取向均明显改善. 仔细观察图 4(a), 可以看到, PZT52-0 的  $\epsilon$ - $V$  曲线的对称轴并不位于零偏压点, 而是向正偏压方向平移. 引起这种现象的主要原因有两个, 一个原因是薄膜中存在空间电荷的影响; 另一是上下电极的制备和热处理过程不同, 而导致上下电极与薄膜的内表面之间的缺陷密度和肖特基势垒的高度不同<sup>[15, 16]</sup>. 由于图 4(b) 中 PZT52-3 的  $\epsilon$ - $V$  曲线的对称轴并没有平移, 而两个样品中上下电极的处理过程是相同的, 因而可以排除上下电极不对称的影响. 这也说明, 由于 PZT52 过渡层的采用而导致 PZT52-3 薄膜的结晶程度改善, 也会减少薄膜中空间电荷的存在. 图 4 也给出了 PZT52-0 和 PZT52-3 薄膜的  $\tan\delta$ - $V$  特性 ( $f = 1\text{kHz}$ ), 两种薄膜的  $\tan\delta$ - $V$  也同样出现与  $\epsilon$ - $V$  曲线相似的双峰特性, 而 PZT52-0 薄膜的损耗较高, PZT52-3 薄膜的损耗较低, 这和前面薄膜介电频谱特性是相一致的.

### 3.5 $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ 薄膜铁电性能

用 RT6000 铁电测试系统测量  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜的电滞回线, 图 5 是  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜的电滞回线. 与 PZT52-0 薄膜相比, PZT52-2 和 PZT52-3 薄膜的剩余极化强度远大于 PZT52-0 薄膜, 尤其是 PZT52-3 薄膜, 剩余极化达到了  $43\mu\text{C}\cdot\text{cm}^{-2}$ , 这显然与 PZT52-2 和 PZT52-3 薄膜的(111)择优取向及较大的晶粒有关<sup>[19]</sup>. 从图 5 也可以看到, PZT52-2 和 PZT52-3 薄膜的矫顽场 ( $E_c = (-E_c + E_c) / 2$ , 分别为  $69\text{kV}\cdot\text{cm}^{-1}$  和  $78\text{kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) 也大于 PZT52-0 的矫顽场 ( $E_c = 51\text{kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). 图 4 中 PZT52-3 薄膜的  $\epsilon$ - $V$  曲线双峰的距离比 PZT52-0 薄膜的  $\epsilon$ - $V$  曲线双峰的距离大, 也说明了这一点. 一般说来, 薄膜晶粒变大, 矫顽场应变小<sup>[9, 13]</sup>, 但是, 在我们的样品中, 在晶粒变大

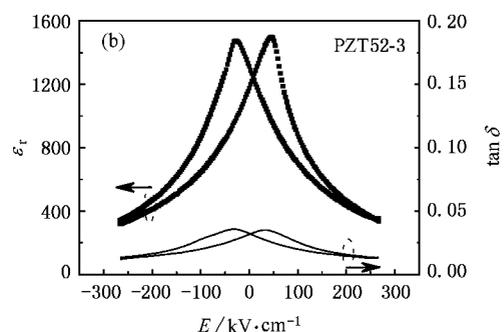


图 4  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜的  $\epsilon$ - $V$  及  $\tan\delta$ - $V$  特性

的同时,还伴随着高度的(111)择优取向,与其他方向上的极化相比,(111)方向的极化在外加电场的作用下翻转,畴壁与畴壁之间将出现较大的内应力,这就需要更大的外加电场才能实现极化翻转<sup>[1,17]</sup>,我们认为,在我们的样品中同时存在着这两种因素的影响.

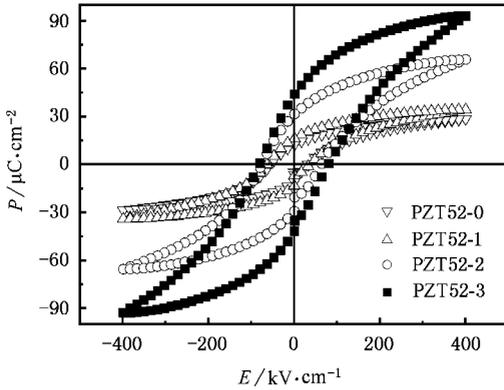


图5 不同厚度 PZT52 过渡层的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜的电滞线

## 4. 结 论

用 Sol-gel 法在  $\text{Pt}/\text{Ti}/\text{SiO}_2/\text{Si}$  基片上沉积一层  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  (PZT52) 过渡层,经  $400^\circ\text{C}$  烘烤、 $550^\circ\text{C}$  退火等程序后,再用 Sol-gel 法在 PZT52 过渡层上沉积  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜,经  $400^\circ\text{C}$  烘烤、 $650^\circ\text{C}$  退火,  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜具有(111)择优取向的钙钛矿结构,且随着过渡层厚度的增加,  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜的(111)择优取向程度越高.当 PZT52 过渡层的厚度达到  $14\text{nm}$  以上,  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜结晶程度得到明显改善,平均晶粒尺寸大大增加.与没有过渡层的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜相比,有 PZT52 过渡层的  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  薄膜具有大的介电常数和剩余极化,而介电损耗较小,特别是 PZT52-3 薄膜,介电常数和剩余极化强度分别达到了  $1278$  ( $f = 1\text{kHz}$ ) 和  $43\mu\text{C}\cdot\text{cm}^{-2}$ , 而介电损耗则减小为  $0.023$  ( $f = 1\text{kHz}$ ), 矫顽场为  $78\text{kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

- [ 1 ] Chen S Y, Sun C L 2001 *J. Appl. Phys.* **90** 2970
- [ 2 ] Scott J F, Paz De Araujo C A 1989 *Science* **246** 1400
- [ 3 ] Paz De Araujo C A, Cuchiaro J D, McMillan L D et al 1995 *Nature* **374** 627
- [ 4 ] Li X, Cheeke J D N, Wang Z et al 1995 *Appl. Phys. Lett.* **67** 37
- [ 5 ] Lin Y, Zhao B R, Peng H B et al 1998 *Appl. Phys. Lett.* **73** 2781
- [ 6 ] Wang Y K, Tseng T Y, Lin P 2002 *Appl. Phys. Lett.* **80** 3790
- [ 7 ] Li J K, Yao X 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 2938 ( in chinese ) [ 李健康、姚 熏 2005 物理学报 **54** 2938 ]
- [ 8 ] Cattani E, Velu G, Jaber B et al 1997 *Appl. Phys. Lett.* **70** 1718
- [ 9 ] Lee E S, Chung H W, Lim S H et al 2005 *Appl. Phys. Lett.* **86** 032903
- [ 10 ] Song Y J, Zhu Y F, Desu S B 1998 *Appl. Phys. Lett.* **72** 2686
- [ 11 ] Funakubo H, Aratani M, Oikawa T et al 2002 *J. Appl. Phys.* **92** 6768
- [ 12 ] Joshi P C, Krupanidhi S B 1993 *J. Appl. Phys.* **73** 7267
- [ 13 ] Yan F, Bao P, Chan H. L. W et al *Thin Solid Film* **406** 282
- [ 14 ] Kim S Y, Park D Y, Woo H J et al 2002 *Thin Solid Film* **416** 264
- [ 15 ] Lee E G, Wouters D J, Willems G et al 1996 *Appl. Phys. Lett.* **69** 1223
- [ 16 ] Zou Q, Ruda H E, Yacobi B G 2001 *Appl. Phys. Lett.* **78** 1282
- [ 17 ] Liang C S, Wu J M 2005 *Appl. Phys. Lett.* **87** 022906

# Improved dielectric and ferroelectric characteristics of highly (111)-oriented $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ films produced by Sol-Gel method\*

Zheng Fen-Gang<sup>1,2)†</sup> Chen Jian-Ping<sup>2)</sup> Li Xin-Wan<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Physics, Suzhou University, Suzhou 215006, China)

<sup>2)</sup> The State Key Laboratory on Fiber-Optic Local Area Network and Advanced Optical Communication Systems, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

( Received 8 December 2005 ; revised manuscript received 14 December 2005 )

## Abstract

Highly (111)-oriented  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  (PZT) films with a variety of PZT buffer layer thickness were prepared by spin coating on Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si substrates with Sol-Gel process. The thickness of PZT buffer layer was found to play a significant role on grain size and orientation of  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$  films. With the increasing of PZT buffer layer thickness, both crystallization and orientation were improved obviously. High dielectric constant (1278, 1kHz, for 28nm buffer), low dielectric loss (0.023, 1kHz, for 28nm buffer), symmetric  $C-V$  characteristics and  $P-E$  curves were obtained. Hysteresis measurements show that the remnant polarization and coercive field of the films reach  $43\mu\text{C}\cdot\text{cm}^{-2}$  and  $78\text{kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ , respectively.

**Keywords :** PZT thin film, preferred orientation, buffer layer, remnant polarization

**PACC :** 7755, 7780, 7785

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China ( Grant Nos. 90204006, 60377013, 10204016 ), " 863 " Project ( Grant No. 2002AA122022 ).

† E-mail: zh200100@sohu.com