

05.2;09;12

## **Электрофизические свойства тонких пленок $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ различного состава в СВЧ диапазоне**

© С.В. Разумов, А.В. Тумаркин

Государственный электротехнический университет (ЛЭТИ), С.-Петербург

Поступило в Редакцию 12 апреля 2000 г.

Приведены результаты исследований электрофизических свойств пленок  $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$  различного состава, полученных методом ионно-плазменного распыления в зависимости от технологических параметров процесса синтеза.

В настоящее время сегнетоэлектрические пленки  $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$  (BSTO) наряду с другими применениями вызывают большой интерес со стороны конструкторов СВЧ приборов и устройств [1,2]. Этот интерес обусловлен сильной зависимостью диэлектрической проницаемости BSTO пленок от приложенного электрического поля, уверенной работой СВЧ приборов на основе BSTO при напряженности поля  $\sim 40 \text{ V}/\mu\text{m}$  и выше [3] и относительно низким тангенсом диэлектрических потерь в СВЧ диапазоне [4]. Вышеназванные свойства BSTO пленок делают перспективным их применение в качестве основы для таких СВЧ устройств, как варакторы, фазовращатели и перестраиваемые фильтры, работающие при комнатной температуре [5]. При этом BSTO пленки на подложках сапфира и особенно поликора представляются наиболее перспективными с точки зрения их электрофизических свойств в СВЧ диапазоне. Однако сегодня для создания приборов СВЧ диапазона необходимы сегнетоэлектрические пленки, обладающие одновременно достаточно сильной зависимостью диэлектрической проницаемости от приложенного поля и низкими потерями в СВЧ диапазоне (по крайней мере, необходимо, чтобы  $\text{tg } \delta$  пленок был меньше 0.01 на частоте 1 GHz при комнатной температуре), что является непростой задачей.

Метод ионно-плазменного осаждения является одним из наиболее приемлемых для роста тонких BSTO пленок высокого структурного и электрофизического совершенства. Однако для получения пленок BSTO с приемлемыми для СВЧ применений параметрами методом ВЧ

магнетронного распыления необходимо установить корреляцию между технологическими параметрами процесса, а именно температурой синтеза пленки, составом рабочего газа и составом распыляемой мишени и электрофизическими свойствами получаемых пленок.

Настоящая работа посвящена исследованию электрофизических свойств BSTO пленок, полученных ВЧ магнетронным распылением керамической мишени на подложки монокристаллического и поликристаллического сапфира.

Исследуемые в работе пленки были получены на технологической установке Leybold Z-400 "on-axis" распылением керамических мишеней диаметром 76 mm различного состава. Осаждение пленок проводилось в атмосфере чистого кислорода и в смеси газов (50% O<sub>2</sub>/50% Ar). Общее давление рабочего газа составляло 8 Pa. Температура синтеза пленок варьировалась от 700 до 900°C. Мощность ВЧ разряда составляла от 120 до 360 W. Для исследования электрофизических свойств полученных пленок были изготовлены планарные конденсаторы с медными электродами толщиной ~ 0.35 μm при ширине зазора ~ 7 μm. Измерения электрических характеристик проводились на частоте 1 GHz; управляющие напряжения  $U$ , прикладываемые к конденсаторам, составляли от 0 до 300 V (напряженность поля  $E$  от 0 до 40 V/μm соответственно).

Зависимости коэффициента управляемости ( $K = C_{\max}(U)/C_{\min}(U)$ ) от температуры синтеза пленок, полученных распылением мишеней Ba<sub>0.8</sub>Sr<sub>0.2</sub>TiO<sub>3</sub> и Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> на подложки сапфира и поликора, приведены на рис. 1, *a* и *b* соответственно. На рис. 2, *a* и *b* аналогично изображены зависимости тангенса угла диэлектрических потерь от температуры. Данные зависимости позволяют сделать вывод о том, что содержание Ba в полученных пленках во многом определяет как управляемость, так и потери на СВЧ. Так, пленки, полученные из мишени состава Ba<sub>0.8</sub>Sr<sub>0.2</sub>TiO<sub>3</sub>, проявляя управляемость до 2.5, демонстрируют высокие потери ( $\text{tg } \delta = 0.04$  при  $U = 0$  и выше), что делает неэффективным их использование в СВЧ диапазоне.

В то же время пленки из мишени состава Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> представляются более перспективными. Для данных пленок прослеживается отчетливая тенденция увеличения управляемости и потерь при возрастании температуры синтеза (рис. 1, *a, b*). Снизить потери удастся, используя в качестве рабочего газа смесь O<sub>2</sub> и Ar вместо чистого кислорода, однако при этом наблюдается снижение управляемости до ~ 1.5. Вероятно,

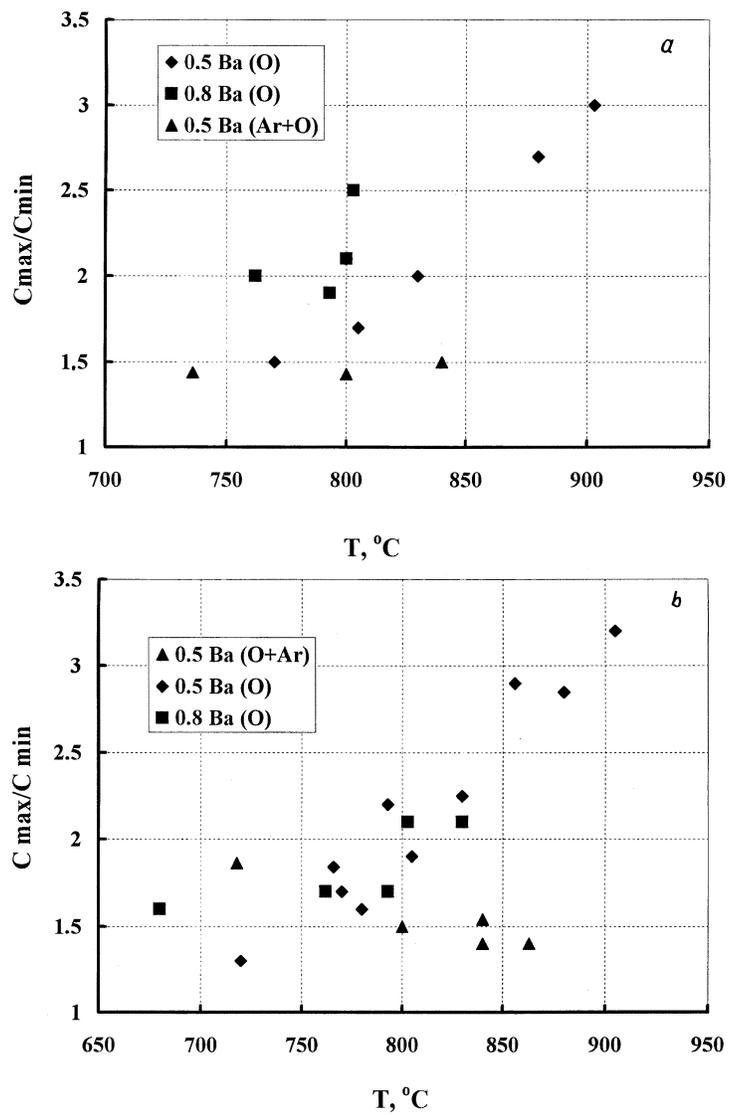
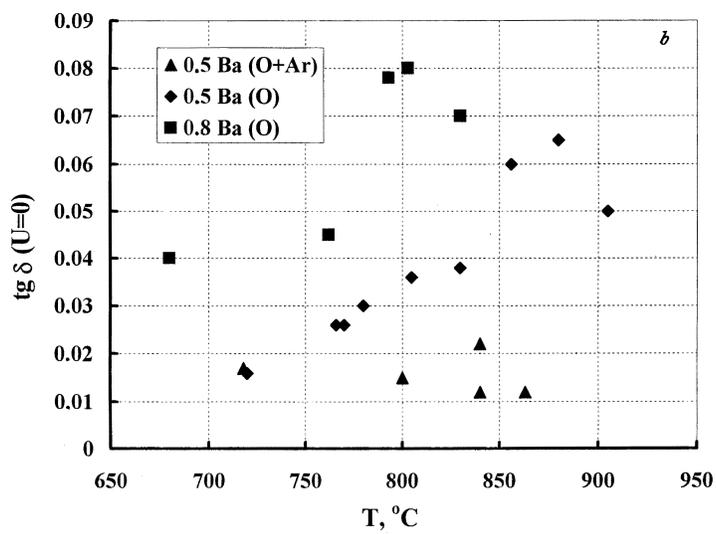
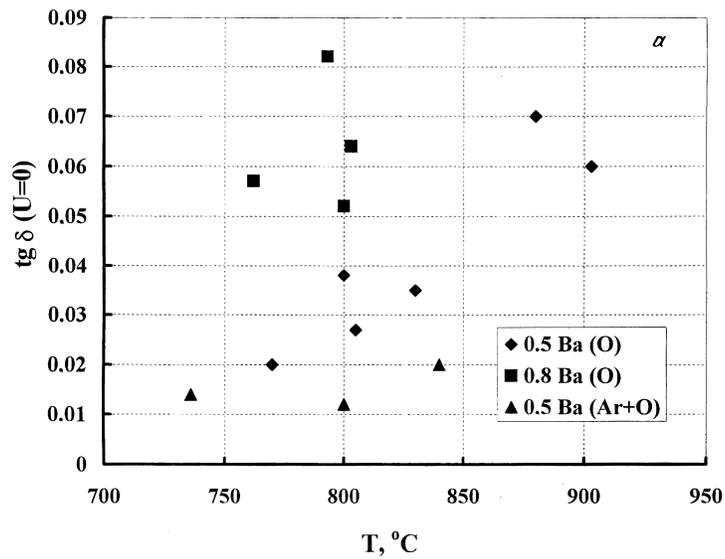


Рис. 1. Зависимость коэффициента управляемости от температуры синтеза пленок, полученных на подложках сапфира (a) и поликора (b).



**Рис. 2.** Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от температуры синтеза пленок, полученных на подложках сапфира (a) и поликора (b).

компромисс между составом мишени с содержанием Ba : Sr не более чем 0.5 : 0.5, достаточно высокой температурой синтеза и составом рабочего газа может решить проблему получения пленок BSTO с одновременно высокой управляемостью и низкими потерями.

Исследования структуры полученных образцов методом рентгеновской дифрактометрии показали, что выращенные в данном температурном диапазоне пленки содержат блоки ориентаций (111), (110) и (100), причем количественное содержание той или иной фазы зависит от температуры синтеза. Можно предположить, что многофазность пленок определяет достаточно высокий уровень потерь, хотя строгой корреляции между изменениями фазового состава и потерями на СВЧ не обнаружено.

Все вышесказанное в равной мере относится к пленкам BSTO на сапфире и на поликоре, так как принципиальных различий в электрических свойствах этих пленок не наблюдается.

Таким образом, в ходе данной работы показана возможность управления электрофизическими свойствами при росте пленок BSTO методом ВЧ магнетронного распыления на подложках как монокристаллического, так и поликристаллического  $Al_2O_3$  и определены направления дальнейших исследований для получения BSTO пленок, проявляющих одновременно высокую управляемость и низкие потери в СВЧ диапазоне.

## Список литературы

- [1] Ponds J.M., Kirchoefer S.W., Chang W., Horwitz J., Chrisey D.B. // Integr. Ferroelectr. 1998. V. 22. P. 317–323.
- [2] Miranda F., Van Keuls F.W., Romanofsky R.R., Subramanyam G. // Integr. Ferroelectr. 1998. V. 22. P. 269–277.
- [3] Jaemo Im, Auciello O., Baumann P.K., Streiffer S.K., Kaufman D.Y., Krauss A.R. // Appl. Phys. Lett. 2000. V. 76. P. 625–627.
- [4] Baniecki J.D., Laibowitz R.B., Shaw T.W., Duncombe P.R., Neumayer D.A., Kotecki D.E., Shen H., and Ma Q.Y. // Appl. Phys. Lett. 1998. V. 72. P. 498–506.
- [5] Kozyrev A.B., Ivanov A.V., Samoiloва T.B., Soldatenkov O.I., Sengupta L.C., Rivkin T.V., Carlson C.M., Parilla P.A., Ginley D.S. // Integr. Ferroelectr. 1999. V. 24. P. 297–307.