

06;09;12

Свойства пленок $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$, выращенных методом ВЧ магнетронного распыления на сапфире с подслоем $SrTiO_3$

© Е.К. Гольман, В.И. Гольдрин, В.Е. Логинов,
А.М. Прудан, А.В. Земцов

Государственный электротехнический университет (ЛЭТИ), С.-Петербург

Поступило в Редакцию 31 марта 1999 г.

Приведены результаты экспериментов по нанесению пленок титаната стронция–бария (BST) на подложки сапфира (r -срез) с подслоем титаната стронция (ST). Показано, что использование подслоя ST позволяет добиться слабой температурной зависимости диэлектрических свойств пленок BST в широком интервале температур. При этом параметры пленок соответствуют уровню, необходимому для изготовления на их основе устройств СВЧ микроэлектроники.

Пленки сегнетоэлектриков, и в частности $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$, активно применяются для изготовления перспективных приборов ВЧ/СВЧ микроэлектроники для работы при комнатной температуре. Основными требованиями к свойствам указанных пленок являются высокая диэлектрическая нелинейность, малые токи утечки (тангенс угла диэлектрических потерь не должен превышать 10^{-2}), высокая стабильность свойств в рабочем диапазоне температур. Диапазон температур, в котором используются нелинейные свойства пленок $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$, изменяется в зависимости от значения величины x от криогенной температуры (при $x = 0$) до значительно превышающей комнатную (при $x = 1$) [1]. При этом типичное изменение диэлектрической проницаемости от максиму-

Давление остаточных газов	$\sim 10^{-4}$ Па (турбомолекулярный насос)
Мишень	$\text{Ba}_{0.65}\text{Sr}_{0.35}\text{TiO}_3$ Диаметр 76 mm, толщина 4 mm
Рабочая атмосфера	Смесь Ar и O_2 ; $p(\text{Ar}) = p(\text{O}_2) = 2$ Па
ВЧ мощность в разряде	180 W
Время осаждения	180 min
Температура подложкодержателя	$650 \div 850^\circ\text{C}$
Расстояние мишень–подложка	3 cm
Время предварительного распыления	15 min

ма до верхнего предела рабочего диапазона температур составляет не менее 80% [2,3].

Настоящая работа посвящена разработке технологии получения пленок титаната стронция–бария на сапфире r -среза методом магнетронного высокочастотного распыления и исследованию их электрофизических свойств.

Нанесение пленок BST проводилось на установке типа Leybold Z-400 распылением синтезированной сегнетоэлектрической мишени на пластины монокристаллического Al_2O_3 ориентации (1102) с предварительно ex situ осажденными слоями SrTiO_3 толщиной ~ 800 Å [4]. Параметры процесса осаждения BST пленок сведены в таблицу.

После осаждения все образцы охлаждались в течение 60 min в чистом кислороде при атмосферном давлении; перед процессом осаждения мишень распылялась в стороне от подложкодержателя при той же ВЧ мощности и давлении смеси 8 Па (соотношение $\text{Ar}/\text{O}_2 = 25/75$); в течение первых 10 min осаждения давление линейно изменялось до рабочего, так же как и соотношение Ar/O_2 .

Исследование кристаллической структуры пленок проводилось методом рентгеноструктурного анализа на установке "Geigerflex" Rigaku-D/max. В пленках BST присутствуют области с ориентацией (100), (110), (111), что соответствует рентгенограммам подслоев ST. Наи-

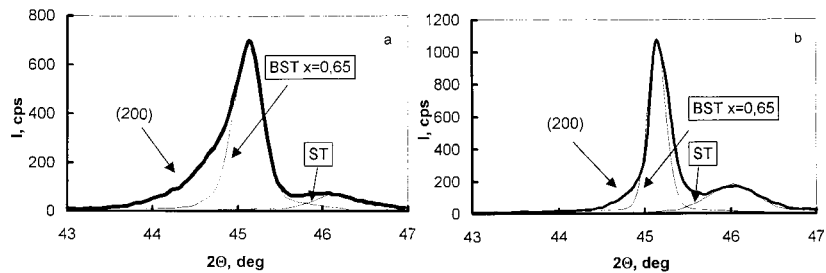


Рис. 1. Рентгеновский пик (200) для образца, полученного при температуре подложки: *a* — 760°C; *b* — 850°C.

большой объем занимают области с ориентацией (100) и (110). При рассмотрении детальной структуры наиболее интенсивных пиков (200) и (110) видно рис. 1, *a*, что наряду с небольшими по интенсивности пиками, отвечающими буферному слою ST, имеется заметная асимметрия и затянутость левого края пика. Однако у образцов, полученных при максимальной температуре подложки (850°C), такой аномалии пиков (200) и (110) не отмечается (рис. 1, *b*). Можно предположить, что асимметричная форма пиков связана с тем, что в процессе осаждения формируются твердые растворы $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ с x от нуля до как минимум 0.65. Необходимо отметить, что данный анализ проводился при помощи стандартной методики разложения пиков на составляющие суммой функций Гаусса и Коши, которая реализуется на вышеуказанной установке рентгеновского анализа.

Наряду с исследованиями кристаллической структуры полученных образцов проводилось исследование диэлектрических свойств пленок. Для этих целей были изготовлены планарные конденсаторы с обкладками из меди и шириной зазора от 6 до 10 μm . Параметры конденсаторов измерялись на частоте $f = 1 \text{ MHz}$ по методике, описанной в [4]. На всех образцах была получена крайне слабая зависимость емкости конденсатора от температуры $C(T)$. Типичная зависимость представлена на рис. 2. При этом тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ для всех конденсаторов был меньше 0.015, а для некоторых образцов находился ниже порога чувствительности приборов (менее 0.0025). Изменение

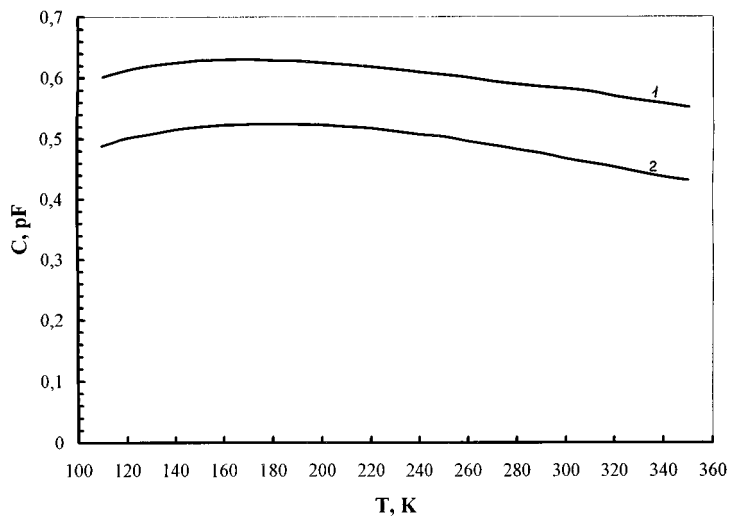


Рис. 2. Зависимость емкости планарных конденсаторов, изготовленных на основе пленок BST, от температуры при отсутствии смещающего поля, $f = 1$ МГц, и разной температуры подложки T_1 : 1 — $T_1 = 760^\circ\text{C}$, 2 — $T_1 = 850^\circ\text{C}$.

емкости при приложении постоянного поля $E = 200$ MV/m составляло для лучших образцов 40% при температуре $T = 300$ К.

Для проверки возможностей применения указанных пленок на СВЧ были изготовлены конденсаторные сэндвич-структуры, предложенные в [2]. Они исследовались на частоте 1.3 GHz. В результате было получено, что управляемость составляет около 75% при значении смещающего поля $E = 40$ MV/m, $\text{tg } \delta \approx 0.025$. При этом сохраняется высокая температурная стабильность диэлектрических свойств.

Таким образом, показано, что при осаждении тонких пленок титаната стронция-бария на подложки сапфира с использованием подслоя титаната стронция можно добиться приемлемых для устройств СВЧ микроэлектроники параметров наряду с их высокой температурной стабильностью. Можно предположить, что температурная стабильность диэлектрических свойств связана с указанным выше структурным эффектом.

Список литературы

- [1] Антонов Н.Н., Бузин И.М., Вендик О.Г. и др. Сегнетоэлектрики в технике СВЧ / Под ред. О.Г. Вендика. М.: Сов. радио, 1979.
- [2] Прудан А.М., Гольман Е.К., Козырев А.Б., Козлов А.А., Логинов В.Е., Земцов А.В. // ФТТ. 1998. Т. 40. № 8. С. 1473.
- [3] Knauss L.A., Pond J.M., Horwitz J.S. et al. // Appl. Phys. Lett. 1 July 1996. 69 (1).
- [4] Loginov V.E., Hollmann E.K., Kozyrev A.B., Prudan A.M. // Vacuum. 1998. V. 51. N 2. P. 141.