

08

Поверхностные акустические волны в тонких пленках титаната бария—стронция на подложках из оксида магния

© *Вл.М. Мухортов, С.В. Бирюков, Ю.И. Головки, Г.Я. Карапетьян,
С.И. Масычев, Вас.М. Мухортов*

Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону
Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи
E-mail: muhortov@rambler.ru

Поступило в Редакцию 8 октября 2010 г.

Установлено, что при использовании в устройстве на поверхностных акустических волнах в качестве активного элемента тонкой пленки титаната бария-стронция на подложке из оксида магния можно вдвое повысить рабочую частоту преобразователя за счет формирования в пленке периодической доменной структуры. Показано, что в тонкой сегнетоэлектрической пленке при стандартной структуре электродов эффективно возбуждается вторая гармоника поверхностной акустической волны. Путем изменения внешнего поляризуемого напряжения на электродах пленки можно создавать преобразователи с электрически регулируемым коэффициентом электромеханической связи.

Поверхностные акустические волны (ПАВ) широко применяются в современной акустоэлектронике для создания фильтров, линий задержки, резонаторов и т.д. При этом очевидно, что с развитием систем связи постоянно требуется повышение рабочих частот устройств. В традиционных элементах, использующих ПАВ, повышение центральной частоты рабочей полосы частот достигается двумя способами — использованием звукопроводящей подложки с более высоким значением скорости звука и уменьшением геометрических размеров (ширины зазора и электрода) излучающего и приемного встречно-штыревого преобразователя (ВШП). Оба этих способа имеют свои естественные ограничения: фиксированная скорость звука в подложке и большие технологические трудности получения литографическим методом зазоров шириной менее $0.5\ \mu\text{m}$.

Повышение качества сегнетоэлектрических пленок, обладающих высоким коэффициентом электромеханической связи, может привести к тому, что они станут альтернативным материалом для реализации устройств обработки сигналов на ПАВ, для которых требуются большая широкополосность, высокие рабочие частоты и возможность электронной перестройки частоты.

В [1] рассмотрена базовая структура ПАВ линии задержки на основе пленки цирконата-титаната свинца (ЦТС) на сапфировой подложке. Полученная золь-гель методом пленка была поляризована путем наложения постоянного поля смещения таким образом, чтобы в каждом из двух смежных зазорах встречно-штыревого преобразователя получить противоположные направления поляризации. Аналогичная структура, получившая название периодически поляризованных преобразователей, исследована в [2]. При этом пленки ЦТС были выращены на монокристаллических подложках SrTiO_3 методом магнетронного напыления. Периодически поляризованные преобразователи работают в режиме второй брэгговской гармоники, что позволяет возбуждать распространяющиеся моды на частотах, в два раза больших, чем у обычных ВШП, т. е. обеспечить двукратное увеличение рабочей частоты устройства на ПАВ. При этом удается избежать потерь, обусловленных излучением объемной волны в подложке [2].

В настоящей работе показано, что при использовании в устройстве на ПАВ в качестве активного элемента тонкой пленки титаната бария-стронция, находящегося в сегнетоэлектрической фазе, можно вдвое повысить рабочую частоту преобразователя за счет формирования в пленке периодической доменной структуры с периодом, равным расстоянию между центрами соседних электродов и составляющему половину геометрического периода ВШП.

Тонкие гетероэпитаксиальные пленки $(\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2})\text{TiO}_3$ толщиной 300–400 нм осаждались на поверхность монокристаллов MgO методом высокочастотного распыления мишеней стехиометрического состава. В зависимости от условий осаждения пленки она имела два типа эпитаксии — слоевую и блочную. Более подробно технологические особенности изготовления образцов описаны в [3,4]. На поверхности образцов методом обратной (взрывной) фотолинтографии формировались пары (излучающий и приемный) ВШП из алюминия толщиной $0.18 \mu\text{m}$ (с подслоем ванадия для обеспечения адгезии). Ширина штыря и зазора преобразователя составляли $1.2\text{--}2 \mu\text{m}$, количество штырей — 40,

расстояние между ВШП (центрами) 1.81, 3.84 и 6.6 mm. Измерения характеристик полученных структур проводились на анализаторе цепей Anritsu MS 4623 В с использованием зондовой станции Micro Tec РМ-5. Для создания в междуэлектродных зазорах пленки поляризованного состояния, необходимого для возникновения пьезоэффекта, через специальные цепи, исключающие влияние источника, подавалось постоянное поляризующее напряжение 40 V, а на приемном ВШП поляризующее напряжение изменялось от 0 до 50 V.

Для измерения скорости ПАВ и коэффициента электромеханической связи K^2 были использованы особенности частотной зависимости проводимости ВШП, расположенного на поверхности пленки [5]. ВШП включался параллельно между генератором и нагрузкой, при этом его геометрия подбиралась таким образом, чтобы емкостное сопротивление преобразователя было близко к сопротивлению нагрузки, что легко достигается соответствующим подбором апертуры. В частности, в подобных измерениях использовались пленки толщиной 300 nm и ВШП с периодом 5.6 μm , шириной электродов и зазоров 1.4 μm и апертурой в 20 периодов. Изменяя частоту генератора, можно было фиксировать частоты резонанса f_0 и антирезонанса f_a тестируемого ВШП. Скорость ПАВ v рассчитывалась по формуле

$$v = f_0 \frac{L}{2},$$

где $L/2$ — половина геометрического периода ВШП, а коэффициент электромеханической связи K^2 определяли из выражения

$$K^2 = \frac{\pi^2 \Delta f}{4 f_0},$$

где $\Delta f = f_a - f_0$ [5].

На рис. 1 показаны измеренные частотные зависимости вносимого затухания, когда ВШП включены параллельно между генератором и нагрузкой при различных значениях постоянного напряжения между электродами. Из рисунка четко видно, что частотная зависимость вносимого затухания сильно зависит от прилагаемого постоянного напряжения. С ростом напряжения смещения минимум и максимум затухания проявляются четче, что свидетельствует о росте K^2 . В таблице приведены скорости ПАВ под ВШП и K^2 в зависимости от

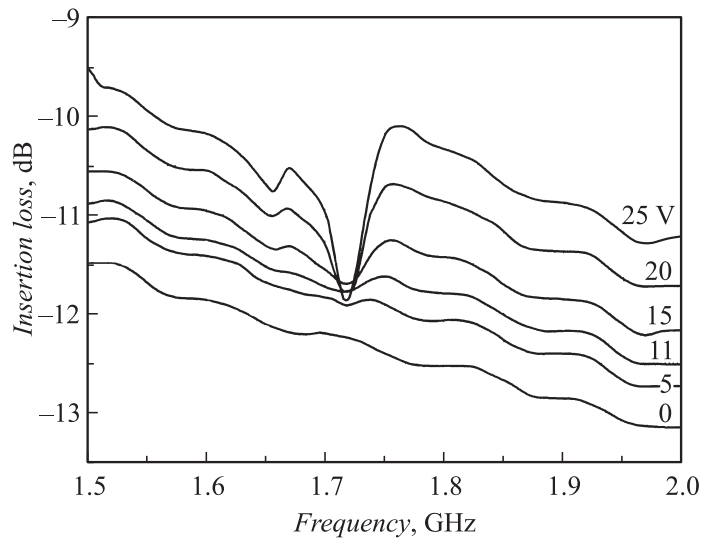


Рис. 1. Частотная зависимость вносимого затухания при различных значениях постоянного напряжения между электродами ВШП.

Зависимость характеристик ПАВ от напряжения смещения

Постоянное напряжение, V	Скорость ПАВ, m/s	K^2
0		0
5	4796.736	0.0207
11	4798.5	0.0494
15	4797.632	0.0535
20	4798.5	0.0584
25	4802	0.070

постоянного смещающего напряжения. Видно, что в отличие от K^2 скорость ПАВ слабо зависит от степени поляризованности объема сегнетоэлектрической пленки. При напряжениях смещения, превышающих 20 V, значение K^2 сравнимо (и даже превышает) аналогичный параметр пьезоэлектрических подложек типа LiNbO_3 .

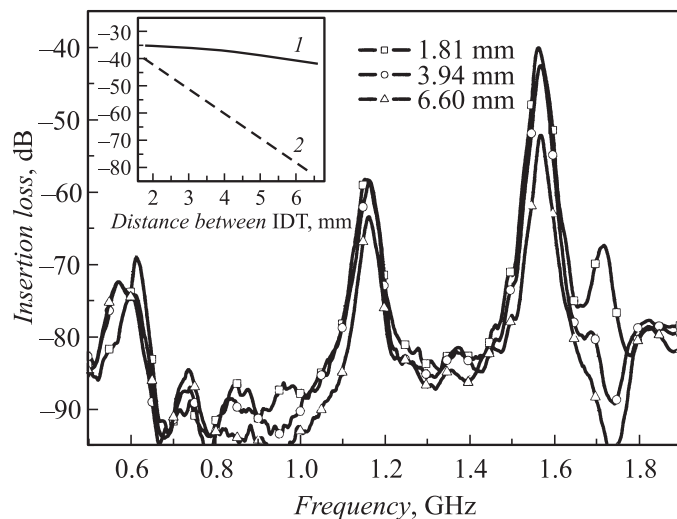


Рис. 2. Спектр отклика ВШП, сформированных на пленке, выращенной по слоевому механизму роста. На вставке — зависимость вносимых потерь от расстояния между излучающим и приемным ВШП, определенная для пленок, сформированных по слоевому (1) и блочному (2) механизмам роста.

На рис. 2 показан спектр отклика преобразователей, сформированных на пленке со слоевым механизмом роста, при различных расстояниях между излучающим и приемным ВШП и постоянном напряжении на преобразователях, равном 30 В. Там же на вставке приведены зависимости вносимого затухания для пленок с различным механизмом роста. Кривая 1 на вставке соответствует пленке со слоевым механизмом роста, а кривая 2 — с блочным механизмом.

Геометрический период ВШП в данных измерениях составлял $8\ \mu\text{m}$. Из представленных зависимостей хорошо видно, что затухание поверхностной волны в структуре пленка–подложка сильно зависит от качества осажденной пленки. Не совсем понятным, подобно данным работы [1], оказалось существование максимума, соответствующего первой гармонике ВШП в районе 600 МГц. Максимум в области 1.54 GHz, скорее всего, соответствует приповерхностной акустической волне.

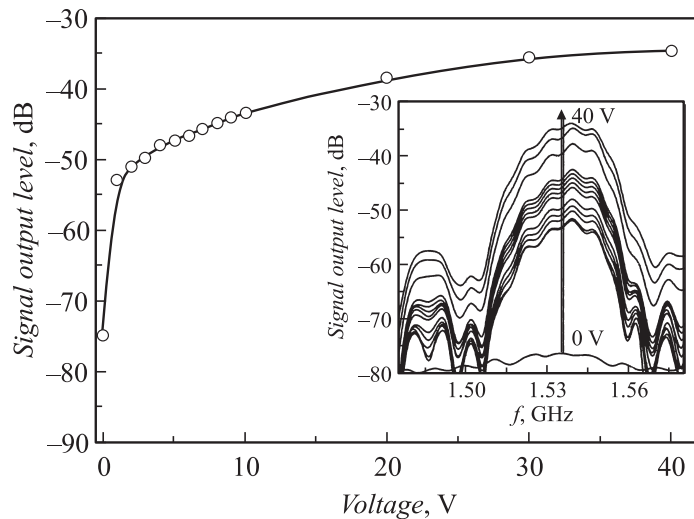


Рис. 3. Зависимость уровня сигнала на приемном ВШП от постоянного напряжения смещения. На вставке — частотная зависимость вносимого затухания для напряжения смещения, изменяющегося от 0 до 40 V.

На рис. 3 показана зависимость уровня сигнала на приемном ВШП от величины постоянного смещающего напряжения при фиксированном напряжении 30 V на излучающем ВШП. Из вставки на том же рисунке хорошо видно, что, варьируя напряжение смещения, можно изменять затухание ПАВ в системе двух ВШП в широких пределах.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что в выращенной на подложке из оксида магния тонкой пленке титаната бария-стронция, находящегося в сегнетоэлектрической фазе, при стандартной структуре электродов эффективно возбуждается вторая гармоника ПАВ. Путем изменения внешнего поляризующего напряжения на электродах сегнетоэлектрической пленки можно создавать преобразователи с электрически регулируемым коэффициентом электромеханической связи и, следовательно, регулируемым уровнем выходного сигнала приемного ВШП.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-02-00254-а.

Список литературы

- [1] *Omori T., Hashimoto K., Yamaguchi M.* // Proc. Int'l Symp. on Acoustic Wave Devices for Future Mobile Comm. Systems. 2001. P. 245.
- [2] *Salut R., Daniau W., Ballandras S. et al.* // Proc. of the IEEE Ultrasonics Symposium. 2007. P. 1422.
- [3] *Мухортов В.М., Юзюк Ю.И.* Гетероструктуры на основе наноразмерных сегнетоэлектрических пленок: получение, свойства и применение. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. 224 с.
- [4] *Мухортов В.М., Головки Ю.И., Колесников В.В., Бирюков С.В.* // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. В. 23. С. 75–80.
- [5] *Карапетьян Г.Я., Багдасарян А.С.* Импедансные фильтры на поверхностных акустических волнах. М.: МПО, 1998. 79 с.