

А. К. Михайлов, С. В. Пташник, С. В. Зиновьев

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Экспериментальное исследование резонаторов на объемных акустических волнах

В статье приводятся экспериментальные характеристики емкостной структуры, содержащей тонкую пленку сегнетоэлектрика, находящегося в параэлектрическом состоянии. Подача смещающего напряжения на слой сегнетоэлектрика приводит к появлению наведенного пьезоэффекта и структура становится тонкопленочным резонатором на объемных акустических волнах. Дальнейшее увеличение количества сегнетоэлектрических слоев может быть использовано для создания электрически перестраиваемого резонатора на объемных акустических волнах.

Ключевые слова: объемные акустические волны, перестраиваемый СВЧ фильтр, сегнетоэлектрические пленки

Резонаторы на объемных акустических волнах (ОАВ) являются одним из перспективных направлений развития элементной базы современной СВЧ акустоэлектроники [1-4]. В качестве их ключевых достоинств выделяют прежде всего сверхмалые размеры и возможность работы на частотах вплоть до десятков гигагерц, что обеспечивает их широкое применение в сверхминиатюрных фильтрах для современных систем связи и навигации. Современные СВЧ резонаторы на ОАВ представляют собой многослойные тонкопленочные структуры, содержащие один пьезоэлектрический слой. Несомненно, что возможность динамического управления частотой резонатора позволяет существенно улучшить массогабаритные параметры фильтровых устройств. Однако рабочая частота указанных резонаторов определяется толщиной структуры и упругими характеристиками составляющих слоев, что не позволяет обеспечить ее эффективную динамическую перестройку.

Одним из возможных решений данной проблемы является переход от традиционных пьезоэлектриков, обладающих встроенным пьезоэффектом (AlN, ZnO) к материалам с наведенным пьезоэффектом, в частности, находящимся в парафазе сегнетоэлектрикам (BSTO, STO). При отсутствии внешнего смещающего поля, такой материал обладает лишь электрострикционными свойствами. Однако, при приложении внешнего поля в нем возникает наведенный пьезоэффект, при этом величина пьезокоэффициента определяется амплитудой поля смещения. В существующих исследованиях [5-8] приводятся как теоретические, так и экспериментальные результаты, согласно которым перестройка рабочей частоты резонатора путем изменения амплитуды поля смещения может достигать 5%.

Целью настоящей работы является разработка и экспериментальное исследование резонатора на объемных акустических волнах с сегнетоэлектрической пленкой титаната стронция (STO). В качестве сегнетоэлектрика для перестраиваемого резонатора на ОАВ обычно используют BSTO, который за счет своей высокой диэлектрической нелинейности обеспечивает перестройку резонансных частот $\sim(3-5)\%$ [5,6,8]. Однако для обеспечения условий селективного возбуждения собственных акустических мод многослойной структуры с двумя сегнетоэлектрическими пленками [9] высокая диэлектрическая нелинейность не

требуется, достаточно существования наведенного пьезоэффекта. Поэтому для подобных структур предпочтительнее использование STO, который имеет более чем на порядок лучшие акустическую и электрическую добротности. Кроме того, технологически проще осаждение менее дефектных пленок STO нежели BSTO, что в свою очередь также должно повысить качество резонатора.

Фотография созданного резонатора представлена на рисунке 1. Резонатор представляет собой многослойную структуру: верхний проводящий электрод (Pt толщиной 100 нм), пленка титаната стронция толщиной 0.6 мкм, нижний проводящий электрод (Pt толщиной 100 нм), при этом вся структура располагается на сапфировой подложке толщиной 0.5 мм.

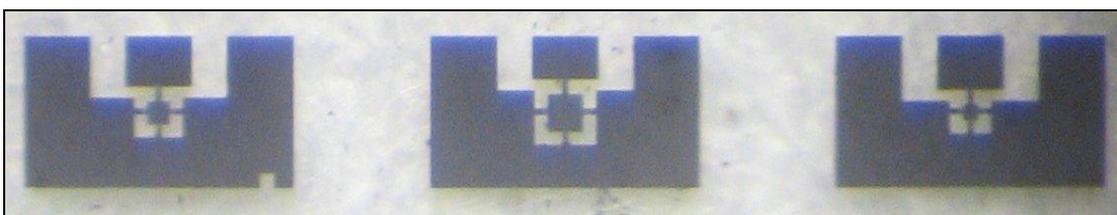
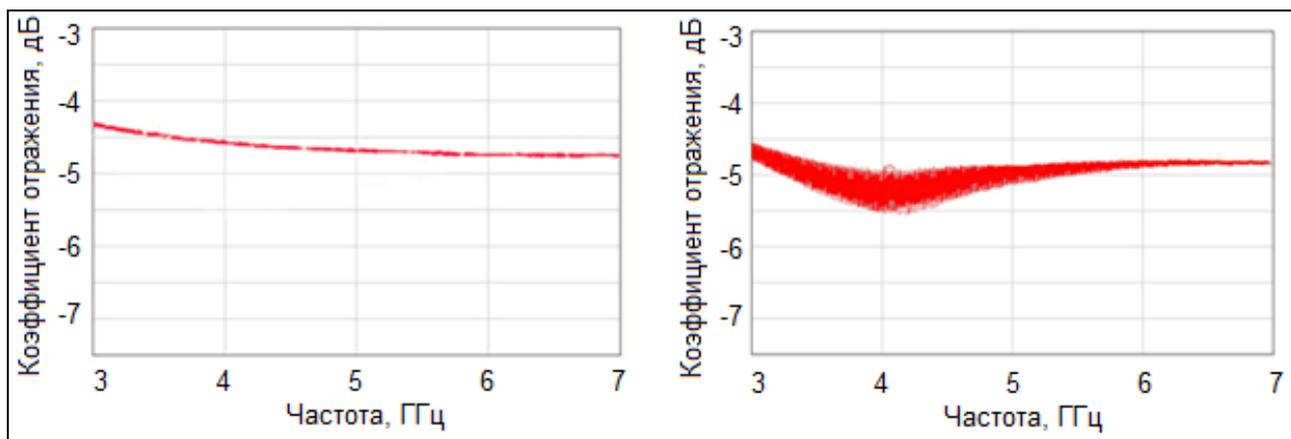


Рис. 1: Фотография резонатора на OAB.

Электрический отклик акустического резонатора с сегнетоэлектрической пленкой на СВЧ сигнал проявляется в виде аномальной зависимости электрического импеданса (Z) от частоты в области собственного акустического резонанса [5-8], поэтому экспериментальные исследования электрических характеристик акустических резонаторов необходимо проводить в широком диапазоне частот. Из анализа литературных источников известно, что характеризацию акустических резонаторов можно обеспечить путем однопортовых измерений коэффициента отражения от структуры. На рисунке 2 представлены экспериментальные характеристики электрического отклика резонатора в отсутствие постоянного смещающего поля (рис. 2а) и при подаче постоянного поля амплитудой 30 В (рис. 2б).

Как видно из рисунка 2а в отсутствие постоянного смещающего поля структура не проявляет резонансных свойств и демонстрирует емкостную характеристику (наведенный пьезоэффект отсутствует). При подаче постоянного поля (рисунок 2б) в области частот ~ 4 ГГц возникают резонансные явления, связанные с возбуждением первой собственной акустической моды структуры Pt/STO/Pt. Однако, добротность резонансного пика невелика, что связано с уходом энергии акустической волны в подложку. Для повышения добротности акустического резонатора целесообразно создание мембранных структур (травление подложки под рабочей областью резонатора), что будет являться объектом дальнейших исследований.



а)

б)

Рис. 2: Экспериментальные частотные зависимости коэффициента отражения от резонатора на ОАВ.

Работа выполнена при частичной поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, а также гранта президента РФ МК-89.2012.8.

Библиографический список

1. G. Fattinger, R. Aigner, and W. Nessler. Coupled bulk acoustic wave resonator filter: key technology for single-to-balanced RF filters. Proceedings IEEE 2004 MTS Symp. Digest, 2004.
2. M. Ueda, M. Hara, S. Taniguchi et al. Development of an X-Band filter using air-gap-type film bulk acoustic resonators. Japanese J. of Applied Physics. – V. 47, N 5, 2008, pp. 4007–4010.
3. Ken-ya Hashimoto. RF bulk acoustic wave filters for communications. Norwood, MA: Artech House, 2009.
4. R. Aigner et al. Behavior of BAW devices at high power levels. Proceedings of IEEE IMS-MTT-S 2005, Long Beach, CA, 2005.
5. M. Capanu, T. Bernacki, M. Zelner et al. DC-Switchable and tunable piezoelectricity in rf thin-film BST capacitors. Proceedings of the 38th European Microwave Conference. – P.123–126. October 2008.
6. A. Noeth, T. Yamada, A.K. Tagantsev et al. Electrical tuning of dc bias induced acoustic resonances in paraelectric thin films. J. Appl. Phys. – 104, 094102, 2008.
7. A. Volatier, E. Defay, M. Aid et al. Switchable and tunable strontium titanate electrostrictive bulk acoustic wave resonator integrated with a Bragg mirror. Appl. Phys. Lett. – 92, 032906, 2008.
8. Vendik I. et. al. Modeling of Tunable Bulk Acoustic Resonators Based on Induced Piezoelectric Effect in BaTiO₃ and Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO₃ Films. J. Appl. Phys. – 103, 014107, 2008.
9. A.B. Kozyrev, A.K. Mikhaylov, S.V. Ptashnik, et al. / Electronically switchable bulk acoustic wave resonator based on paraelectric state ferroelectric films // Electronical Letters 2011. V. 47, No 24.