

**М.Ю. Двоешерстов, В.И. Чередник,**

**С.Е. Коршунов, С.И. Босов**

ОАО «Конструкторское Бюро «Икар»

## **Технология формирования полосовых фильтров на основе smr-baw резонаторов**

*В работе представлена технология формирования полосовых СВЧ фильтров лестничного типа на основе SMR BAW-резонаторов на нитриде алюминия с Брэгговским отражателем в диапазоне рабочих частот 2-10 ГГц. Разработан экспериментальный образец трехзвенного фильтра на центральную частоту 5 ГГц и представлены результаты измерений его параметров.*

**Ключевые слова:** акустоэлектроника, СВЧ акустоэлектронные тонкопленочные резонаторы и фильтры

Одним из перспективных СВЧ акустоэлектронных устройств является SMR BAW-резонатор (solidly mounted resonator bulk acoustic wave) [1]. Принцип его работы основан на возбуждения продольной объемной акустической волны (ОАВ) в тонкой пьезокристаллической пленке, например (001)AlN. На базе SMR-BAW резонаторов также могут быть реализованы полосовые фильтры лестничного типа, работающие в диапазоне частот от 2 до 20 ГГц.

Классическая схема элементарной ячейки лестничного полосового фильтра имеет обычно вид либо Т – звена, либо П – звена показана на рис.1,2.

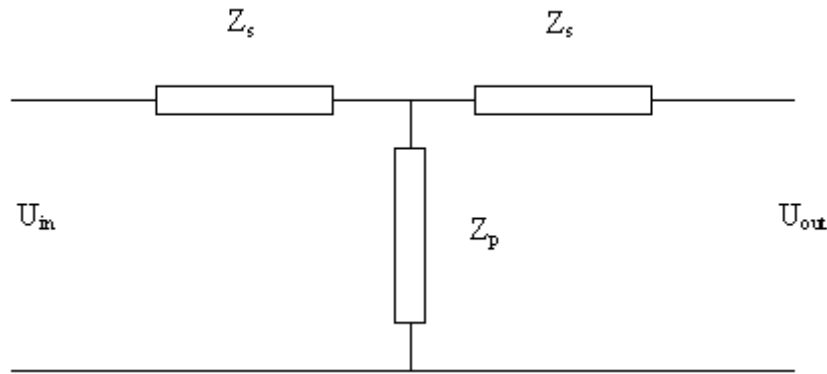


Рис. 1. Схема Т – звена лестничного фильтра

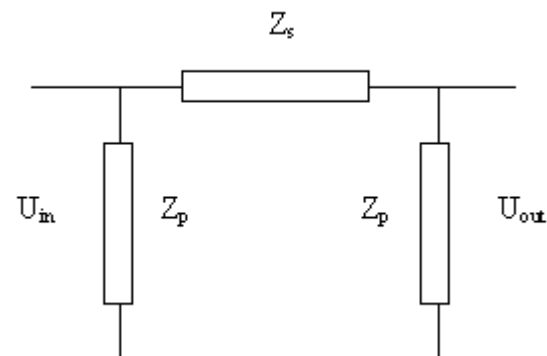


Рис. 2. Схема П – звена лестничного фильтра

На рис. 1, 2  $Z_s$  и  $Z_p$  – импедансы SMR BAW резонаторов, образующих фильтр, включенные последовательно и параллельно соответственно. Резонансная частота (частота последовательного резонанса) последовательных резонаторов должна совпадать с центральной частотой полосы пропускания фильтра, тогда антрирезонансная частота этих резонаторов будет определять правую границу полосы пропускания. Антрирезонансная частота (частота параллельного резонанса) параллельных резонаторов должна также совпадать с центральной частотой полосы пропускания, тогда резонансная частота этих резонаторов будет определять левую границу полосы пропускания. При конструировании лестничного фильтра необходимо соединение SMR BAW резонаторов по Т-образной либо по П-образной схеме. При этом возникают технологические сложности при формировании фотошаблона на фильтр, связанные с тем, что необходимо соединять, например, нижний электрод последовательного резонатора с верхним электродом параллельного резонатора и т.д.. Для того чтобы обойти эти сложности, а также улучшить параметры фильтра применяют вместо одного резонатора – два резонатора, соединенные последовательно. В этом случае нижний электрод является общим для двух резонаторов, а два верхних электрода двух резонаторов будут сформированы в одной плоскости для поверхностного монтажа и электрических соединений.

На рис.3 показана эквивалентная схема П-образного лестничного фильтра с двойными SMR BAW резонаторами.

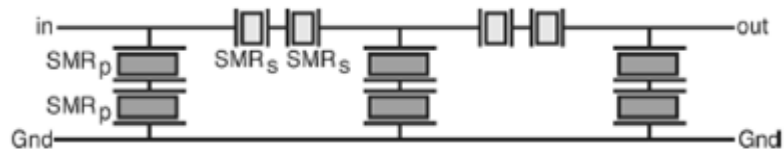


Рис.3. Эквивалентная схема П-образного лестничного фильтра с двойными резонаторами.

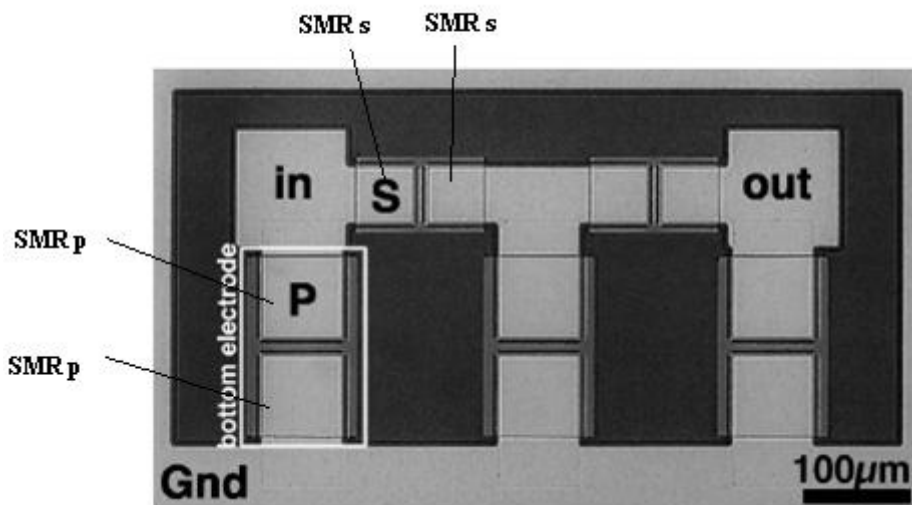


Рис.4. П-образный лестничный двухзвенный FBAR фильтр.

Здесь  $SMR_s$  и  $SMR_p$  -соответственно резонаторы, включенные последовательно и параллельно в цепь фильтра. На рис. 4 показан общий вид сверху фотошаблона фильтра.

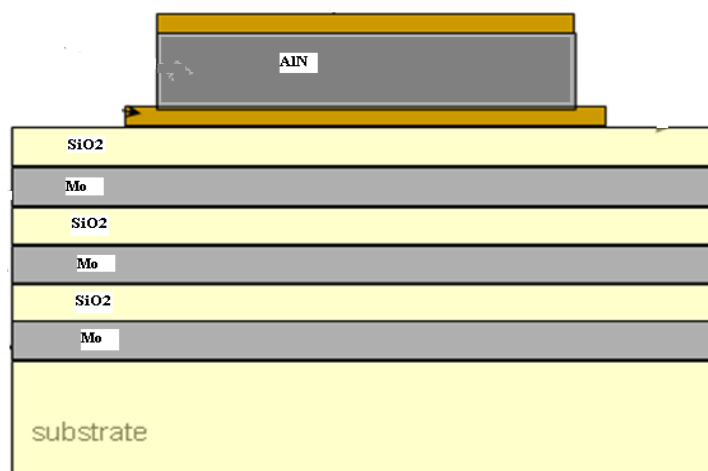


Рис.5 SMR BAW резонатор

Конструкция одиночного SMR BAW резонатора показана на рис.5. Как видно из рис.5, резонатор включает два электрода из Mo, между которыми расположен пьезоэлектрический слой AlN, а также акустический Брэгговский отражатель, состоящий из чередующихся слоев SiO<sub>2</sub>/Mo. Реализация схемы фильтра, показанной на рис. 4, состоящего из отдельных SMR BAW резонаторов осуществляется на общей многослойной структуре AlN/Mo/SiO<sub>2</sub>/Mo/SiO<sub>2</sub>/Mo/SiO<sub>2</sub>/Mo/SiO<sub>2</sub>/Mo, формируемой на подложкодержателе (стекло, кремний, поликор). Для электрического разъединения отдельных резонаторов и соединения их в П-цепочку при формировании фильтра необходимо использовать двойную фотолитографию для формирования нижних электродов резонаторов (1 фотошаблон, рис. 6.а) и для формирования верхних электродов (2 фотошаблон, рис. 6.в). При этом на сплошной многослойной структуре ненужные (не активные) площади должны быть удалены для того, чтобы не было паразитной связи между отдельными резонаторами.

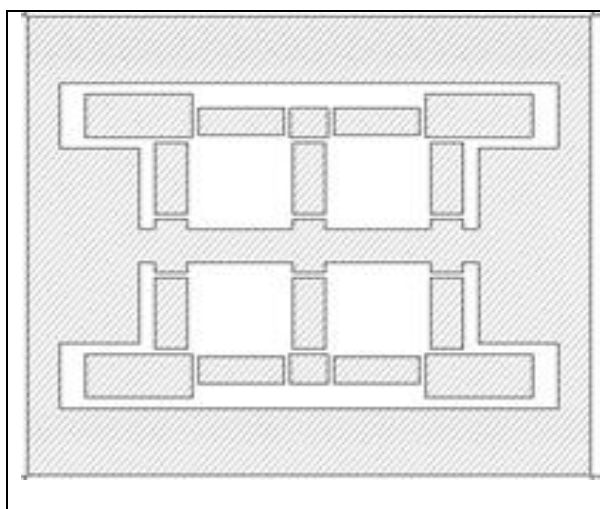


Рис. 6.а

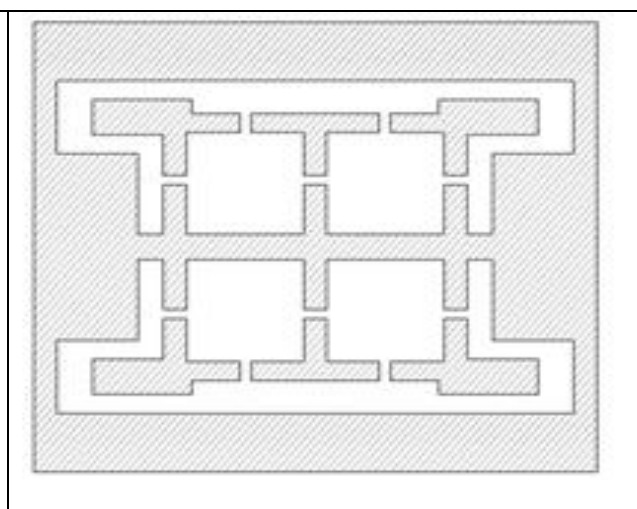


Рис.6.в

Технология изготовления структуры следующая - на подложке кремния (111)Si методом молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) выращивается пленка (0001)AlN, имеющая пьезосвойства. Далее напыляется нижний электрод из Mo и Брэгговский отражатель, состоящий из чередующихся слоев SiO<sub>2</sub>/Mo. Рабочая частота резонатора определяется толщинами всех слоев в структуре. Далее со стороны последнего слоя отражателя (Mo) делается фотолитография, применяя фотошаблон нижнего электрода, для плазмо-химического травливания неактивных областей фильтра. Далее идет операция приклеивания получившейся структуры к подложкодержателю со стороны Брэгговского отражателя и операция утоньшения исходного кремния и его окончательного удаления методом плазмо-химического травления. Теперь можно приступить к фотолитографии верхнего электрода. Если исходный фотошаблон верхнего электрода совместить с рисунком нижнего электрода и сделать фотолитографию верхнего электрода из Mo, то мы получим 2 трехзвенных фильтра, состоящих из отдельных SMR-BAW резонаторов и уже соединенных в цепочку по схеме лестничного типа. Каждый фильтр состоит из 10 резонаторов (6 параллельных и 4 последовательных). При этом все резонаторы пока настроены на одну частоту. Для формирования требуемой полосы фильтра необходимо центральную частоту параллельных резонаторов SMR<sub>p</sub> сместить на нужную частоту путем напыления пленки SiO<sub>2</sub> определенной толщины, для чего необходимо также иметь маску, которая закрывает последовательные резонаторы от запыления SiO<sub>2</sub>. На рис. 7 показана фотография трехзвенных фильтров, изготовленных на основе SMR-BAW резонаторов по групповой технологии.

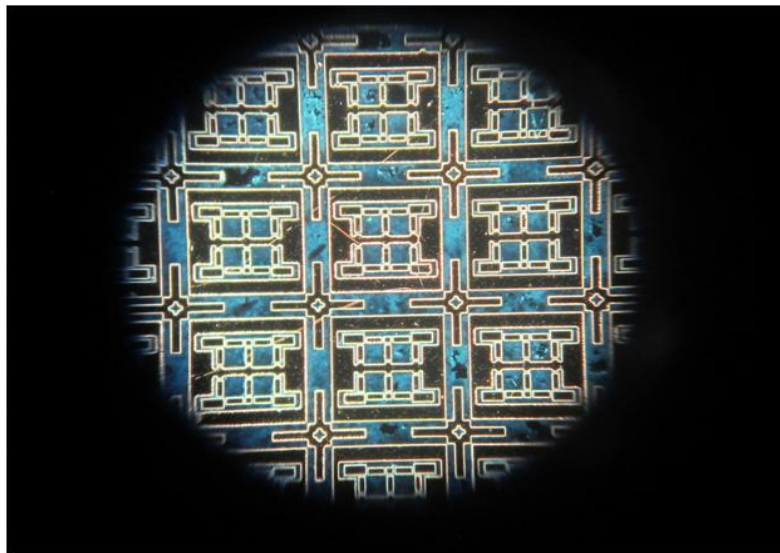


Рис.7.

Общий габаритный размер одного фильтра 1x1мм. На рис. 8 показана экспериментально снятая характеристика лестничного фильтра на SMR BAW резонаторах, изготовленного на центральную частоту 5 ГГц с полосой пропускания 220МГц (4.4%). При этом при подстройке частоты параллельных резонаторов через маску методом магнетронного напыления формировалась пленка SiO<sub>2</sub>, толщиной 0.06мкм.

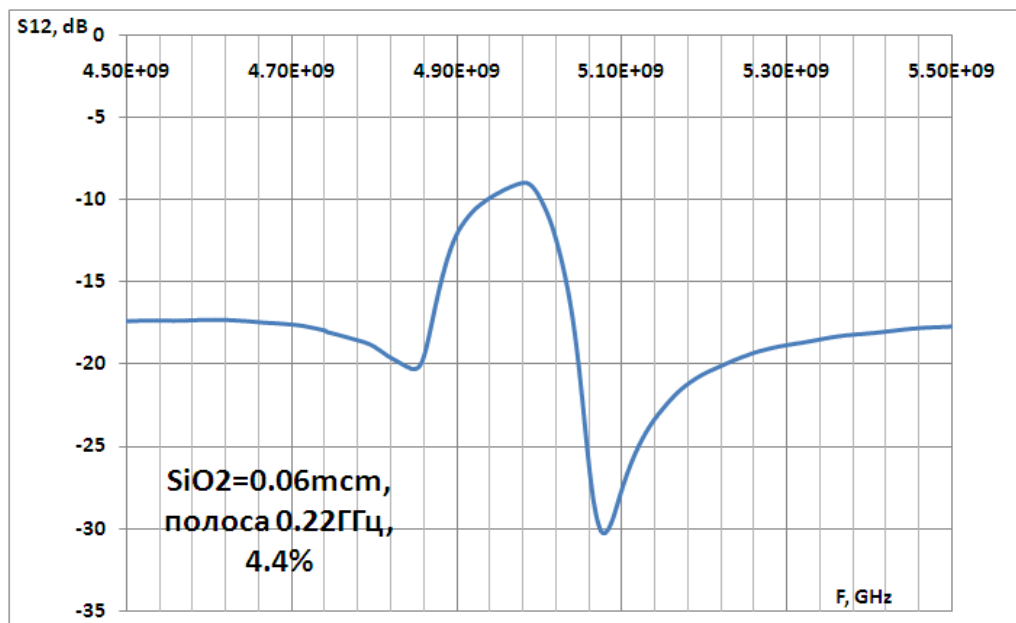


Рис.8

Для такой конфигурации фильтра затухание вне полосы составило 17дБ, а вносимые потери 7дБ. Для увеличения затухания вне полосы необходимо увеличивать количество звеньев в фильтре, а также оптимизировать фотошаблон. Для снижения вносимых потерь надо улучшать качество (металличность) электродов резонаторов.

Библиографический список

1. R. Lanz, P. Muralt, «Bandpass Filters for 8 GHz Using Solidly Mounted Bulk Acoustic Wave Resonators», IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol. 52, No. 6, June 2005, pp. 936-946