

УДК 537.876.4

Андрій Зазерін, Анатолій Орлов

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна

ТЕХНОЛОГІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ТОНКОПЛІВКОВОГО П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО РЕЗОНАТОРА ОБ'ЄМНИХ ХВИЛЬ

Andrii Zazerin, Anatolii Orlov

FBAR FABRICATION PROCESS AND MODELLING

Швидкий розвиток бездротових телекомунікаційних систем привів до збільшення попиту на портативні пристрої та щороку встановлює все більш і більш жорсткіші вимоги до НВЧ фільтрів, включаючи більш високу продуктивність, мініатюризацію та зниження витрат.

До кінця 90-х років фільтри, що застосувались в мобільних телекомунікаційних системах, використовували керамічну та ПАВ технології. Керамічні фільтри могли б працювати з прийнятними втратами до 2 ГГц, але були б занадто громіздкими. ПАВ фільтри забезпечують непогану мініатюризацію через те, що їх робота пов'язана з акустичними хвилями, але вони забезпечують достатню продуктивність лише на нижніх частотах мобільного зв'язку [1]. Більш того, ні керамічні, ні ПАВ фільтри не можуть бути інтегровані на кристали, тому що вони не сумісні з КМОП технологією.

FBAR є одним з видів МЕМС (мікроелектромеханічних) пристроїв і використовується в якості основного частотозадаючого елемента малощумлячих генераторів та фільтрів діапазону частот 300 МГц...10 ГГц, а також фізичних, хімічних і біомедичних датчиків з частотним або фазовим поданням вихідних даних. Фільтри на FBAR дуже перспективні і, по ряду причин, в близькому майбутньому будуть використовуватися замість традиційних фільтрів - на поверхневих акустичних хвилях і керамічних, особливо в пристроях мобільного зв'язку і широкосмугового доступу. Головним чином, це пояснюється сумісністю FBAR зі стандартною кремнієвої технологією, і, відповідно, мається на увазі масове виробництво і можливість інтеграції запропонованих фільтрів з радіочастотними системами на одній інтегральній мікросхемі, а також стабільністю і надійністю.

В даний час використовуються три основні конструкції FBAR-резонаторів. У перших двох використовуються коливання вільно підвішеного резонатора. При цьому для створення резонаторів першого типу використовується об'ємне стоп-травлення з нижньої сторони підкладки (рис.1, а), що призводить до зменшення механічної міцності і великої площі резонатора. У другому випадку (рис.1, б) напилення електродів і п'єзоелектричної плівки проводять на ділянки підтримуючого матеріалу з подальшим його поверхневим травленням через отвори по краях резонатора. У третьому варіанті резонатор напилюється на відбиваючу акустичні хвилі Бреггівську решітку, що складається з декількох чвертьхвильових шарів з високим і низьким акустичним імпедансом (рис.1, в).

Високі значення добротності Q_s (більше 1000) та коефіцієнта електромеханічного зв'язку призводять до відмінних показників крутизни зрізу фільтру: більш ніж 40 дБ в смузі менше 10 МГц або 50 дБ в смузі 15 МГц [2]. Враховуючи можливість роботи на частотах до 10 ГГц і навіть вище, а також відсутність енергоспоживання [3] у порівнянні з активними та цифровими фільтрами, FBAR фільтри представляються надзвичайно конкурентоспроможними. Однак зі збільшенням робочої частоти в конструктивних даних фільтрів вводяться нові акустичні та електромагнітні обмеження. Використання активних елементів в фільтрах на основі FBAR дозволяє зняти деякі обмеження.

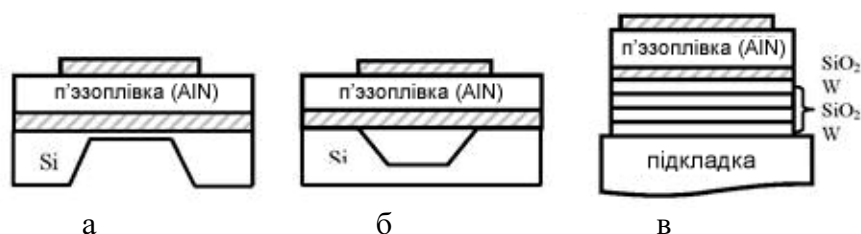


Рис.1. Конструкції тонкоплівкових резонаторів з нижнім травленням (а), з поверхневим травленням (б) і з Бреггівським дзеркалом (в)

Різноманіття конструктивних особливостей і форм резонаторів призвело до необхідності розробки моделі, що враховує чимало параметрів. Серед найбільш часто вживаних можна виділити моделі Мезона, BVD (Butterworth-Van-Dyke) і KLM (Krimholtz, Leedom, Matthaei). Модель Мезона отримується шляхом аналізу поширення механічних хвиль у напрямку товщини. Еквівалентна схема представляється Т-подібною лінією передачі з деякими механічними навантаженнями Z_H і Z_L . KLM модель є модифікацією моделі Мезона зі збереженням її розподіленої природи, а BVD заснована на представленні основної моди за допомогою зосереджених елементів [4]. Зосередженість елементів моделі BVD робить її дуже зручною для отримання еквівалентних схем більш складних структур шляхом простої модифікації. Водночас зазначені моделі є одновимірними і не враховують скінченності структури резонатора. Необхідність тривимірної симуляції стає очевидною, коли електрична поведінка резонатора включає також поширення латеральних хвиль, які не враховуються існуючими одновимірними моделями [5].

Мета роботи полягає в розробці моделі, що усуває недоліки існуючих моделей з урахуванням особливостей технології виготовлення шляхом застосування різних методів оптимізації структури резонатора (аподизація, метод потовщеної границі) і застосування активних елементів в схемі. Використання активних схем фільтрів FBAR в якості частотозадаючих елементів не тільки повинно зняти ряд обмежень, але і забезпечити більш якісне розділення смуг пропускання та загасання, дозволить порівняно просто регулювати нерівномірність частотної характеристики і змінювати центральну частоту, не пред'являючи жорстких вимог до узгодження навантаження фільтра.

Крім того, при цьому з'являється унікальна можливість реалізації нових класів фільтрів на FBAR - широкосмугових смуго-пропускаючих та частотно-запираючих, фільтрів нижніх і верхніх частот. Тому необхідність створення моделі в широкому діапазоні частот є однією з основних вимог до її розробки.

Література

1. E.C. Lopez. Analysis and design of bulk acoustic wave filters based on acoustically coupled resonators. Universitat Autònoma de Barcelona, 2011, – 202 p.
2. William Mueller. A brief overview of FBAR technology. Agilent Technologies, Inc. 2001. – 7 p.
3. Andrew Nelson, Julie Hu. A 22 uW, 2.0GHz FBAR Oscillator. IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, 2011, – 4 p.
4. J.V. Tirado. Bulk acoustic wave resonators and their application to microwave devices: PhD dissertation. Universitat Autònoma de Barcelona, 2010, – 201 p.
5. Microsonics corp. Bulk Acoustic Resonator FEM-BEM Simulation. Saint-Avertin, France, 2006, – 7 p.