



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **131654** (13) **U**
(51) МПК (2018.01)
H03H 9/00
H03H 9/15 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

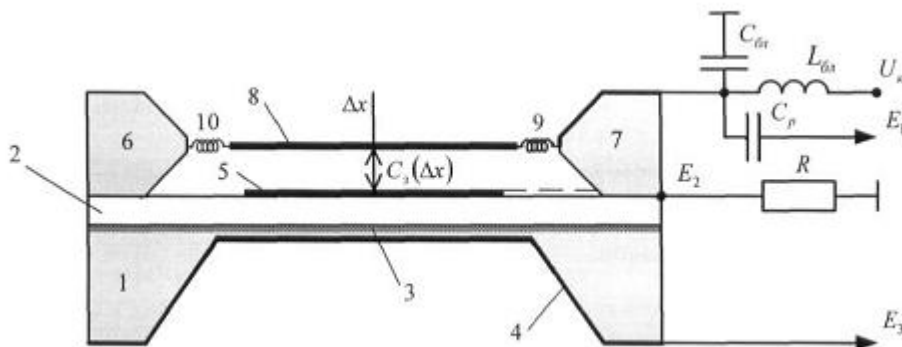
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2018 07923	(72) Винахідник(и): Таранчук Алла Анатоліївна (UA), Підченко Сергій Костянтинович (UA), Акулінічев Артем Аркадійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 16.07.2018	(73) Власник(и): ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.01.2019	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.01.2019, Бюл.№ 2	

(54) ВИСОКОЧАСТОТНИЙ АКУСТИЧНИЙ РЕЗОНАТОР З ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИМ MEMS-КЕРУВАННЯМ

(57) Реферат:

Високочастотний акустичний резонатор, виконаний за технологією FBAR, містить основу з нанесеною п'єзоелектричною плівкою, механічну резонуючу мембрану в центральній частині, нижній та верхній нерухомі електроди. При цьому додатково введені верхній рухомий електрод з електростатичним керуванням та діелектричні утримувачі верхнього рухомого електрода, причому верхній рухомий електрод встановлений на пружних підвісах, а пружні підвіси жорстко закріплені на діелектричних утримувачах.



UA 131654 U

Корисна модель належить до акустоелектроніки і може використовуватись в п'єзоелектричних пристроях стабілізації частоти.

Відомий кварцовий резонатор, що містить кристалічний елемент, розміщений з зазором між двома кристалічними пластинами, на внутрішніх гранях яких розташовані збуджуючі електроди, введено два додаткових електроди, кожен з яких розташований на зовнішній грані відповідної кристалічної пластини, причому збуджуючий електрод, розташований на одній кристалічній пластині, з'єднаний з додатковим електродом, розташованим на іншій кристалічній пластині [1].

Недоліком відомого кварцового резонатора є неможливість перестроювання його частоти в процесі експлуатації та обмежений частотний діапазон застосування.

Також відомий п'єзоелектричний резонатор з керуванням частотою, який містить кристалічний елемент і два збуджуючих електроди, розташовані співвісно площині кристалічного елемента, утримувач кристалічного елемента та корпус, причому перший електрод закріплено нерухомо відносно кристалічного елемента, а другий електрод закріплено на рухомому якорі лінійного електродинамічного приводу, лінійний електродинамічний привод закріплено нерухомо і співвісно кристалічному елементу та складається з обмотки індуктора, рухомого якоря та пружини, якір розміщено на обмотці індуктора з боку кристалічного елемента і закріплено пружиною до корпусу [2].

Недоліком відомого п'єзоелектричного резонатора з керуванням частотою є використання інерційного електромеханічного модулятора міжелектродного зазору, що обмежує динамічний діапазон керування частотою та вимагає підвищеної потужності сигналу керування. Окрім цього даний п'єзоелектричний резонатор не призначений для використання в діапазоні надвисоких частот та вступає в протиріччя з вимогами щодо мікромініатюризації, що унеможлиблює його реалізацію в інтегральному виконанні.

Найбільш близьким до запропонованого пристрою (пристрій-найближчий аналог) є високочастотний акустичний резонатор, виконаний за технологією FBAR (Film Bulk Acoustic Resonator), який містить підкладку з нанесеною п'єзоелектричною плівкою, тонку резонуючу мембрану (60 мкм) в центральній частині, нижній та верхній нерухомі електроди.

Недоліком пристрою - найближчого аналога є відсутність можливості керування частотою резонатора в процесі експлуатації.

В основу корисної моделі поставлена задача забезпечення можливості керування частотою високочастотного акустичного резонатора (АР) з високими динамічними характеристиками та мінімальною потужністю споживання колами керування.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у високочастотному акустичному резонаторі, виконаному за технологією FBAR, який містить основу з нанесеною п'єзоелектричною плівкою, механічну резонуючу мембрану в центральній частині, нижній та верхній нерухомі електроди, згідно із корисною моделлю додатково введено верхній рухомий електрод з електростатичним керуванням та діелектричні утримувачі верхнього рухомого електрода, причому верхній рухомий електрод встановлений на пружних підвісах, а пружні підвіси жорстко закріплені на діелектричних утримувачах.

Конструкція високочастотного акустичного резонатора з електростатичним MEMS (MicroElectroMechanical Systems) - керуванням представлена на кресленні. Пристрій складається з основи 1 з нанесеною п'єзоелектричною плівкою 2; механічної резонуючої мембрани 3; нижнього та верхнього нерухомих електродів 4 та 5; діелектричних утримувачів 6 та 7; верхнього рухомого електрода 8, який встановлений на пружних підвісах 9, 10, що жорстко закріплені на діелектричних утримувачах 6, 7. Пружний підвіс 9 виконує також функції електричного виводу рухомого електрода 8.

Принцип роботи високочастотного АР з електростатичним MEMS - керуванням подібний роботі звичайного кварцового резонатора із збудженням в зазорі [4]. Акустичний резонатор працює наступним чином.

Подача змінної напруги (сигналу надвисоких частот) на верхній рухомий електрод 8 (E_1) та нижній нерухомий електрод 4 (E_3) викликає в п'єзоелектричній плівці 2 під дією електричного поля та зворотного п'єзоефекту механічні мікропереміщення. При цьому збуджується об'ємна акустична хвиля з напрямком розповсюдження, перпендикулярним до поверхні п'єзоелектричної плівки.

Верхнім рухомих електродом 8 та верхнім нерухомим електродом 5 утворюється ємність зазору C_3 , яка залежить від величини зазору Δx (фіг. 1). При цьому резонансна частота АР може бути представлена як [5]

$$f(x) = f_0 \sqrt{1 + \frac{m}{1 + \frac{h_{\text{ПЕ}}}{\varepsilon_{\text{ПЕ}} \Delta x}}} \approx f_0 \left(1 + \frac{0,5m}{1 + \frac{h_{\text{ПЕ}}}{\varepsilon_{\text{ПЕ}} \Delta x}} \right), \quad (1)$$

де f_0 - номінальна частота АР для $\Delta x=0$; $m=C_q/C_0$ - ємнісне співвідношення АР, C_q, C_0 - динамічна та статична еквівалентні ємності АР; $h_{\text{ПЕ}}$ - частото-визначальний розмір (товщина п'єзоелектричної плівки); $\varepsilon_{\text{ПЕ}}$ - діелектрична проникність п'єзоелектричної плівки (наприклад, для нітриду алюмінію AlN $\varepsilon_{\text{ПЕ}} \approx 8$).

З електричної точки зору збудження АР в зазорі еквівалентно зміні еквівалентної динамічної ємності [4]:

$$C_{\text{зз}} = \frac{C_q C_3^2}{(C_3 + C_0)(C_3 + C_0 + C_q)} \approx C_q / (1 + C_3 / C_0)^2, \quad (2)$$

де C_3 - ємність зазору збудження між електродами 5 і 8.

Верхній рухомий електрод 8 та верхній нерухомий електрод 5 являє собою MEMS-конденсатор з електростатичним керуванням. Керування ємністю C_3 здійснюється зміною напруги керування U_k , яка прикладена між електродами 8 і 5 (E_2). Зміна величини напруги керування U_k призводить до зміни дії електростатичних сил і, відповідно, більшого або меншого прогину вниз верхнього рухомого електрода 8. Даний тип керування не потребує додаткових енергетичних затрат, а мала маса електрода MEMS-конденсатора дозволяє забезпечити високі динамічні характеристики керування [6].

Додаткові електричні елементи, блокуючі ємність $C_{\text{бл}}$, індуктивність $L_{\text{бл}}$ та роздільна ємність C_p забезпечують розділення кіл збудження та керування АР, а резистор R слугує для формування "віртуального" нуля в точці під'єднання верхнього нерухомого електрода 5.

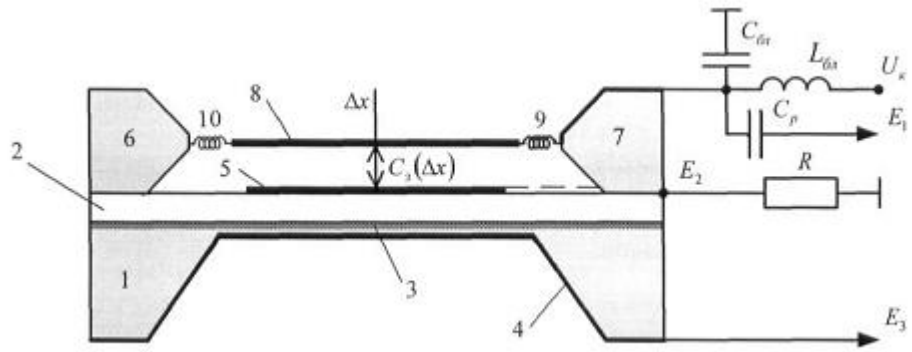
Запропонована конструкція високочастотного акустичного FBAR-резонатора з електростатичним MEMS-керуванням забезпечує усунення недоліків конструкції FBAR-резонаторів, пов'язаних зі складністю процесу налаштування резонансних частот під час їх виготовлення, а також дозволяє розширити функціональні можливості FBAR-резонаторів, зокрема, шляхом їх використання як частотних модуляторів сигналів в діапазонах дециметрових та сантиметрових хвиль.

Джерела інформації:

1. А.с. SU1299445 А1 СССР, МКИ⁶ H03H 9/15. Кварцевый резонатор / И.В. Абрамзон, А.Н. Дикиджи, В.Г. Тихомиров (СССР). - опубл. 10.01.1996, Бюл. № 28.
2. Патент UA57121 Україна МПК H03H 9/00. П'єзоелектричний резонатор з керуванням частоти / С.В. Хуторненко, В.М. Савченко, Д.А. Семенець та ін. - № u201009357; заявл. 26.07.2010; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3.
3. С. Nguyen, L. Katehi, G. Rebeiz., "Micromachined devices for wireless communications (invited)," Proc. IEEE, vol. 86, no. 8, pp. 1756-1768, Aug. 1998.
4. Смагин А.Г. Пьезоэлектричество кварца и кварцевые резонаторы. / А.Г. Смагин, М.И. Ярославский - М.: Энергия, 1970. - 488 с.
5. Патент 59936А. Україна, МКІ 7 G01L 9/08, G01L 9/12. Датчик тиску / Ф.Ф. Колпаков, А.А. Акуліничев, С.К. Підченко, А.А. Таранчук, 2003. - Бюл. № 9.
6. А.А. Акуліничев. Кварцевый частотный модулятор с подвижным микроэлектродом управляемой геометрии // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. - 2011, № 1 (49). - с. 22-28.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Високочастотний акустичний резонатор, виконаний за технологією FBAR, який містить основу з нанесеною п'єзоелектричною плівкою, механічну резонуючу мембрану в центральній частині, нижній та верхній нерухомі електроди, який **відрізняється** тим, що додатково введені верхній рухомий електрод з електростатичним керуванням та діелектричні утримувачі верхнього рухомого електрода, причому верхній рухомий електрод встановлений на пружних підвісах, а пружні підвіси жорстко закріплені на діелектричних утримувачах.



Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601