



(19) RU (11) 2099857 (13) C1

(51) 6 H 03 H 9/00

Комитет Российской Федерации
по патентам и товарным знакам

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ к патенту Российской Федерации

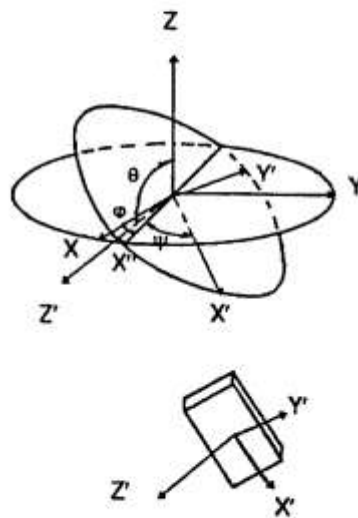
1

(21) 96100012/09 (22) 10.01.96
(46) 20.12.97 Бюл. № 35
(76) Науменко Наталья Федоровна, Орлов
Виктор Семенович
(56) JEEE Fregneesy Control Sumpos& -
1994, p.35 - 39.
(54) **ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ УСТРОЙСТВО
НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ
ВОЛНАХ**
(57) Изобретение относится к радиоэлектронике и может быть использовано в диапазоне высоких частот для частотной и временной обработки сигналов в радиотелефонах, мобильных системах связи, телевидении и т.д. Технической задачей, решаемой в изобретении, является уменьшение вносимых потерь

2

и улучшение термостабильности. При подаче электрического сигнала на передающий электроакустический преобразователь (ЭАП) 2 в пьезоэлектрическом звукопроводе 1, выполненном из силикогаллата лантана, возбуждается поверхностная акустическая волна, распространяющаяся в направлении, составляющем угол с нормалью к электродам ЭАП 2. Ориентация рабочей поверхности и нормали к электродам ЭАП относительно кристаллофизических осей X, Y, Z выбраны из условия снижения вносимых потерь, обусловленных преобразованием ПАВ, дифракцией и отклонением потока энергии при одновременном улучшении температурной стабильности. 4 ил.

RU
2099857
C1



Фиг. 1

RU 2099857 C1

Изобретение относится к радиоэлектронике и может быть использовано для частотной и временной обработки высокочастотных сигналов в радиотелефонах, мобильных системах связи, телевидении и т.д.

Известно устройство на поверхностных акустических волнах (ПАВ), содержащее пьезоэлектрический звукопровод, на рабочей поверхности которого размещены входной и выходной электроакустические преобразователи (ЭАП). С целью повышения стабильности в качестве материала звукопровода используется кварц термостабильного ST-среза [1], ориентация которого относительно кристаллофизических осей X , Y , Z в соответствии с международными стандартами описывается углами Эйлера $\varphi = 0^\circ$, $\theta = 132,75^\circ$, $\psi = 0^\circ$. Для этого среза температурный коэффициент частоты (ТКЧ) составляет 0 ($1/^\circ\text{C}$).

Недостатком известного устройства на ПАВ являются большие вносимые потери $a_{вн}$, обусловленные потерями на преобразование ПАВ a_n из-за малости коэффициента электромеханической связи (КЭМС) $k_s^2 = 0,116\%$ и потерями на распространение a_p на высоких частотах (более $3,1$ дБ/мкс на частоте 1 ГГц). Это ведет к существенному росту вносимых потерь в устройстве (до $15-20$ дБ) и делает невозможным его использование, например, в качестве фильтров для мобильных систем связи. Фильтры для подобных систем должны иметь вносимые потери не более $3-4$ дБ на промежуточных частотах $70-250$ МГц или на радиочастотах $800-1800$ МГц.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому является устройство на ПАВ, содержащее пьезоэлектрический звукопровод из монокристалла силикогаллата лантана, на рабочей поверхности которого размещены передающий и приемный ЭАП ПАВ, содержащие системы электродов, например встречно-штыревые и при необходимости отражательные электроды [2]. Использование монокристалла силикогаллата лантана в качестве материала звукопровода обеспечивает по сравнению с кварцем снижение потерь на распространение до 1 дБ/мкс на частоте 1 ГГц [3]. С целью уменьшения вносимых потерь на преобразование a_n углы Эйлера, определяющие ориентацию рабочей поверхности звукопровода и нормали к электродам ЭАП относительно кристаллофизических осей материала звукопровода, выбраны из условия $\varphi = 90^\circ$, $\theta = 10^\circ$, $\psi = 0^\circ$.

Недостатком известного технического решения [2] является низкая температурная стабильность (ТКЧ = $12 \cdot 10^{-6}$ ($1/^\circ\text{C}$)), а также высокие потери a_n на преобразование ПАВ, на отклонение потока энергии a_0 и на дифракцию a_d , определяемые соответственно коэффициентом электромеханической связи k_s^2 , углом отклонения потока энергии ϕ и параметром анизотропии γ . Для известного решения $k_s^2 = 0,26\%$, $\phi = -5,7^\circ$, $\gamma = -2,859$.

Технической задачей изобретения является уменьшение вносимых потерь и улучшение термостабильности.

Решение поставленной задачи достигается тем, что в высокочастотном устройстве на ПАВ, содержащем пьезоэлектрический звукопровод из монокристаллического силикогаллата лантана, рабочая поверхность пьезоэлектрического звукопровода выполнена перпендикулярно оси Z' , электроды электроакустического преобразователя размещены перпендикулярно оси X' , а продольная ось электродов совпадает с осью Y' , при этом оси X' , Y' , Z' в системе углов Эйлера (φ , θ , ψ) ориентированы относительно кристаллофизических осей X , Y , Z силикогаллата лантана таким образом, что угол φ изменяется от -15 до $+10^\circ$, угол θ выбран в пределах от 120 до 165° , а угол ψ составляет от 20 до 45° .

На фиг. 1 и 2 представлено высокочастотное устройство на ПАВ. На фиг. 3 приведены зависимости скорости v ПАВ, угла отклонения потока энергии ϕ , коэффициента электромеханической связи k_s^2 и ТКЧ от угла Эйлера ψ при некоторых значениях угла θ для предлагаемого устройства в случае, когда угол $\varphi = 0^\circ$. На фиг. 4 показаны зависимости характеристик ПАВ от угла ψ при $\theta = 145^\circ$ и нескольких различных значениях угла φ .

Устройство на ПАВ содержит пьезоэлектрический звукопровод 1 из монокристаллического силикогаллата лантана, передающий 2, приемный 3 электроакустические преобразователи соответственно в виде систем возбуждающих 4, детектирующих 5 и (при необходимости) отражающих 6 электродов. Нормаль Z' к рабочей поверхности звукопровода, нормаль X' к электродам 4, 5, 6 ЭАП и продольная ось этих электродов Y' ориентированы относительно кристаллофизических осей X , Y , Z монокристалла таким образом, что углы Эйлера составляют $\varphi = -15 - +10^\circ$, $\theta = 120-165^\circ$, $\psi = 20-45^\circ$. Здесь углы Эйлера имеют следующую физическую суть:

φ - угол между кристаллофизической осью X и вспомогательной осью X'' поворота исходной кристаллофизической плоскости XY до совмещения ее с плоскостью рабочей поверхности звукопровода 1;

θ - угол между кристаллофизической осью Z и осью Z', совпадающей с нормалью к рабочей поверхности звукопровода 1;

ψ - угол между вспомогательной осью X'' и осью X', совпадающей с нормалью к электродам ЭАП 2, 3.

Устройство на ПАВ работает следующим образом. При подаче электрического сигнала от генератора с внутренней проводимостью G_r на передающий ЭАП 2 в пьезоэлектрическом звукопроводе 1 возбуждается ПАВ, поток энергии которой распространяется в направлении X''', составляющем угол ϕ с нормалью X' к электродам 3 ЭАП 2. Распространяющаяся ПАВ достигает электродов 5 приемного ЭАП 3 и преобразуется в электрический сигнал, выделяющийся на проводимости нагрузки G_n . Вносимые потери $a_{вн}$ устройства на ПАВ (без учета потерь на двунаправленность излучения) складываются из нескольких составляющих:

потерь на преобразование $a_n = a_{n1} + a_{n2}$ ПАВ передающим и приемным ЭАП, определяемых коэффициентом электромеханической связи k_s^2 ,

потерь a_p на распространение ПАВ в звукопроводе;

потерь a_d на дифракционное расхождение распространяющего пучка ПАВ;

потерь a_o из-за отклонения потока энергии на угол ϕ от нормали X' к электродам 4, 5, совпадающей с направлением распространения фазового фронта ПАВ.

Таким образом, вносимые потери устройства на ПАВ

$$a_n = a_{n1} + a_{n2} + a_p + a_d + a_o, \text{ дБ. (1)}$$

В свою очередь каждая из компонент вносимых потерь связана с электрофизическими параметрами материала звукопровода 1 и геометрическими характеристиками ЭАП 2 и 3 следующими соотношениями.

Потери a_{n1} на преобразование обратно пропорциональны коэффициенту электромеханической связи k_s^2 . Для встречно-штыревого преобразователя (ВШП), содержащего N пар возбуждающих электродов, в режиме согласования с катушкой индуктивности на средней частоте [1]

$$a_{n1} = -10 \lg [2b / (1+b)^2], \text{ дБ, (2)}$$

где $b = G_n / G_d$; G_n - проводимость нагрузки, Сим; G_d - проводимость излучения ВШП, Сим. Например, для неаподизованного ВШП на средней частоте f_0 проводимость излуче-

ния

$$G_d = 8k_s^2 f_0^2 C_s N^2 W, \text{ где } C_s = 2(\epsilon_{pr}^T + 1) \times \\ \times (6,5d_n^2 + 1,08d_n + 2,37) 10^{-12}$$

ф/м - емкость пары электродов на единицу длины при диэлектрической проницаемости материала звукопровода ϵ_{pr}^T , W - апертура ВШП, м; N - число пар электродов ВШП, которое определяется из заданной полосы пропускания устройства на ПАВ следующим образом: $N = 0,632(\Delta f - 3/f_0)^{-1}$, где $(\Delta f - 3/f_0)$ - относительная полоса пропускания по уровню -3 дБ.

Потери на распространение линейно зависят от расстояния между передающим и приемным ЭАП и составляет [1]

$$a_p = bf^2 + cf, \text{ дБ/мкс, (3)}$$

где b и c - константы, зависящие от материала звукопровода 1; f - рабочая частота, Гц.

Потери вследствие отклонения потока энергии пропорциональны углу ϕ :

$$a_o = -20 \lg(1 - B \tan \phi), \text{ дБ, (4)}$$

где B - геометрический параметр, равный отношению расстояния l между центрами преобразователей 2, 3 к их апертуре W.

Потери из-за дифракционного расхождения пучка ПАВ в зоне Френеля определяются по формуле [4]

$$a_d = -10 \lg \left[\int_{-1/2}^{+1/2} u(W, y) dy \right], \text{ дБ, (5)}$$

$$\text{Re } u(W, y) = \text{Ci}(\alpha_1) - \text{Ci}(\alpha_2),$$

$$\text{Im } u(W, y) = \text{Si}(\alpha_2) - \text{Si}(\alpha_1),$$

$$\alpha_1 = \pi W^2 (y + 1/2)^2 / [1 + \gamma |1\lambda|],$$

$$\alpha_2 = \pi W^2 (y - 1/2)^2 / [1 + \gamma |1\lambda|],$$

где

Ci(t) и Si(t) - интегралы Френеля, γ - параметр анизотропии материала звукопровода в направлении распространения ПАВ, λ - длина волны.

Дифракционные потери зависят от знака и величины γ и минимальны при значении $\gamma = -1$, соответствующем срезам с самофокусированием ПАВ.

Таким образом, снижение потерь в устройстве может быть достигнуто за счет выбора ориентации (среза) пьезоэлектрического звукопровода с большим коэффициентом электромеханической связи k_s^2 для ПАВ, малым углом отклонения потока энергии ϕ и параметром анизотропии, близким к -1. При типичных значениях апертуры преобразователей ПАВ $W = (20 - 30)\lambda$ и расстояния между излучающим и приемным преобразователями $l = (200 - 300)\lambda$ дифракционные

потери связаны с искажением формы акустического луча и не превышают 1,6 дБ [1]. Поэтому вносимые потери устройства будут, в основном, определяться потерями на преобразование и на отклонение потока энергии.

Оценим преимущества предлагаемого устройства по сравнению с известным техническим решением [2].

Для устройства-прототипа с ориентацией (90° , 10° , 0°) известны следующие значения электрофизических параметров, характеризующие температурную стабильность и вносимые потери [2]: $TKЧ = 12 \cdot 10^{-6}$ ($1/^\circ C$), $k_s^2 = 0,26\%$, $\phi = -5,7^\circ$.

Как видно из фиг. 3 и 4, в предложенном устройстве со звуководом из силикогаллата лантана для любых углов Эйлера, выбранных в пределах $15^\circ \leq \varphi \leq +10^\circ$, $120^\circ \leq \theta \leq 165^\circ$, $20^\circ \leq \psi \leq 45^\circ$,

значения $TKЧ$ не превышают по модулю $10 \cdot 10^{-6}$ ($1/^\circ C$), а для ориентации с углами Эйлера около 0° , 144° , $22,75^\circ$ значение $TKЧ$ близко к нулю.

В результате в предлагаемом устройстве обеспечивается улучшение температурной стабильности по сравнению с известным техническим решением.

Из фиг. 3, 4 также видно, что для предлагаемого устройства угол отклонения потока энергии ϕ не превышает 5° , а коэффициент электромеханической связи больше $0,2\%$ и достигает максимального значения для силикогаллата лантана $k_{\max}^2 = 0,45\%$. Следовательно, для подавляющего числа возможных ориентаций, принадлежащих к семейству в предлагаемом устройстве, коэффициент электромеханической связи k_s^2 больше, а угол ϕ отклонения потока энергии меньше, чем у устройства-прототипа. Поэтому соответствующие потери на преобразование и отклонение потока энергии меньше, чем у прототипа. В тех же ориентациях для предложенного устройства $30^\circ \leq \psi \leq 45^\circ$, где k_s^2 несколько меньше, чем у прототипа ($0,2\% < k_s^2 < 0,26\%$), некоторое увеличение потерь на преобразование компенсируется снижением по сравнению с прототипом потерь на отклонение потока энергии.

Таким образом, для любого фиксированного значения одного из углов Эйлера в пределах семейства ориентаций предложенного устройства всегда имеются значения двух других углов Эйлера, обеспечивающие улучшение температурной стабильности и

уменьшение вносимых потерь по сравнению с прототипом.

Таким образом, в предложенном устройстве обеспечивается решение поставленной технической задачи.

Пример 1. Рассмотрим два примера фильтр для бесшнуровых радиотелефонов общеевропейского стандарта DECT на промежуточную частоту $f_0 = 110,6$ МГц с полосой пропускания $\Delta f_{-3} = 0,965$ МГц или $(\Delta f_{-3}/f_0) = 0,88\%$. В качестве звупровода выбран срез силикогаллата лантана, определяемый углами Эйлера (0° , 146° , $22,5^\circ$) со следующими параметрами ПАВ: $k_s^2 = 0,42\%$, $\phi = 0,9^\circ$, $TKЧ = 2 \cdot 10^{-6}$ ($1/^\circ C$). При числе электродов в каждом из двух преобразователей, близком к оптимальному $N_{\text{опт}} = 72$, обеспечивающем минимально возможные потери на преобразование при согласовании с 50-омным трактом, апертуре преобразователей $W = 3,5$ мм и расстоянии между их центрами $l = 10$ мм, для предлагаемого технического решения потери на преобразование без учета двунаправленности излучения ВШП близки к нулю, в то время как потери на отклонение потока энергии составят 0,4 дБ.

Для устройства-прототипа с аналогичными геометрическими параметрами соответствующие значения потерь будут 0,6 дБ и 2,9 дБ. Таким образом, суммарный выигрыш по вносимым потерям составит 3,1 дБ. При этом температурная стабильность предлагаемого устройства существенно лучше, чем у прототипа.

Пример 2. Рассмотрим высокочастотный фильтр, предназначенный для селекции несущих радиочастот в бесшнуровых радиотелефонах общеевропейского стандарта DECT. Рабочая частота фильтра $f_0 = 1,89$ ГГц, полоса пропускания $\Delta f_{-3} = 20$ МГц или $(\Delta f_{-3}/f_0) \approx 1\%$. При $N = 65$, типичной апертуре $W = 0,14$ мм (100λ) и расстоянии между центрами $l = 1$ мм для предлагаемого технического решения с ориентацией звупровода, определяемой углами Эйлера (0° , 144° , $22,75^\circ$) и имеющей параметры ПАВ: $k_s^2 \approx 0,37$, $\phi \approx 0^\circ$, $TKЧ \approx 0$ ($1/^\circ C$), потери на отклонение потока энергии равны нулю, а потери на преобразование без учета двунаправленности излучения ВШП составят 1,2 дБ.

Для прототипа с аналогичными геометрическими параметрами соответствующие значения потерь будут 2,6 дБ и 10,8 дБ. Суммарный выигрыш по вносимым потерям составит 12,2 дБ. Кроме того, в отличие от

прототипа предлагаемое устройство термостабильно.

Следует отметить, что реализация указанных фильтров с малыми вносимыми потерями с использованием термостабильного ST-среза кварца невозможна.

Литература.

1. Поверхностные акустические волны. /Под ред. А.Олинера: Пер. с англ. М.: Мир, 1981, 390 с.

2. Науменко Н.Ф. Оптимальные срезы лангасита для устройств на ПАВ. //Матери-

алы конференции "Акустоэлектронные устройства обработки информации на поверхностных акустических волнах". Черкассы. 1990, с. 18, 19.

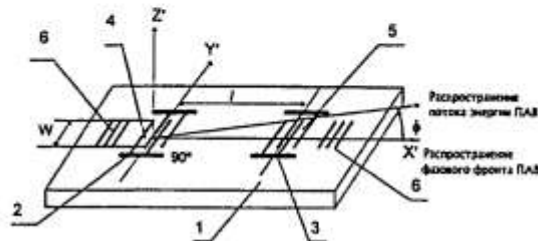
3. Mansfeld G.D. Measurements of acoustic wave attenuation in $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ using Hbar technique. // IEEE Frequency Control Symposium. 1994, p.35-39.

4. Penunuri D. Numerical Technique for SAW Diffraction Simulation. //IEEE Trans. Microw. Theory Techn. 1978, v. MTT-26, p.288-294.

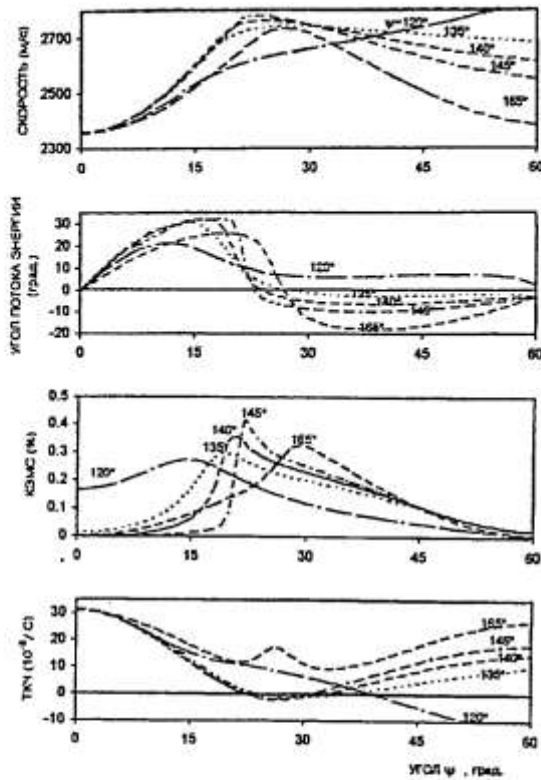
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Высокочастотное устройство на поверхностных акустических волнах, содержащее пьезоэлектрический звукопровод из кристалла силикогаллата лантана, на рабочей поверхности которого размещены передающий и приемный электроакустические преобразователи в виде возбуждающих и отражающих электродов, отличающееся тем, что рабочая поверхность пьезоэлектрического звукопровода выполнена перпендикулярно оси Z' , электроды электроакустического преобразователя размещены перпендикулярно оси X' , а продольная ось электродов электроакустического преобразователя совпадает с осью Y' , при этом оси X' , Y' , Z' , связанные с кристаллофизи-

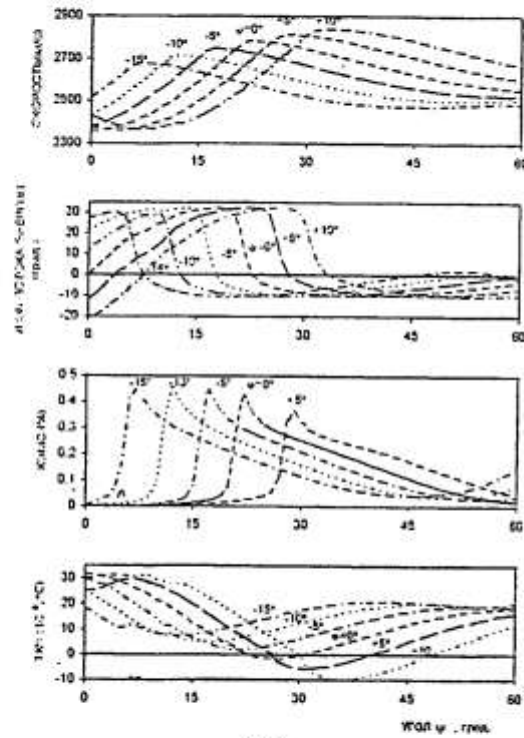
ческими осями кристалла X , Y , Z , ориентированы так, что угол φ между кристаллофизической осью X и вспомогательной осью X'' поворота исходной кристаллофизической плоскости XY до совмещения ее с плоскостью рабочей поверхности звукопровода выбран в пределах от -15 до 10° , угол θ между кристаллофизической осью Z и осью Z' , совпадающей с нормалью к рабочей поверхности звукопровода, выбран в пределах $120 - 165^\circ$, а угол ψ между вспомогательной осью X'' и осью X' , совпадающей с нормалью к электродам электроакустического преобразователя, выбран в пределах $20 - 45^\circ$.



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Заказ *БЭН* Подписное
 ВНИИПИ, Рег. ЛР № 040720
 113834, ГСП, Москва, Раушская наб., 4/5

121873, Москва, Бережковская наб., 24 стр. 2.
 Производственное предприятие «Патент»