

УДК 621.391.2

А. В. БОРОДИН, В. Г. ВОЛКОВ, В. А. ХОРУНЖИЙ, канд. техн. наук,
В. А. КАСТОРНЫЙ

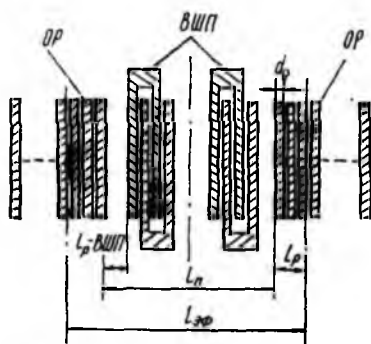
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ИНТЕГРАЛЬНЫХ РЕЗОНАТОРНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ПАВ**

Освоение производства высокочастотных резонаторов на поверхностных акустических волнах (ПАВ) для фильтров и генераторов сопряжено с вопросами создания обеспечения высокой эффективности технологического процесса, который должен обеспечить требуемый выход годных изделий.

Одна из основных выходных характеристик резонаторов — частота основного резонанса. Ввиду высокой добротности резонаторов на ПАВ (десятки тысяч) точность воспроизведения резонансной частоты определяет возможности их применения в аппаратуре. На основе анализа модели двухвходового резонатора на ПАВ типа Фабри-Перо исследовалось влияние различных факторов технологического процесса на резонансную частоту. Получено выражение,

связывающее результирующую погрешность с погрешностями на отдельных этапах изготовления устройства.

Отражательные решетки — одни из основных элементов резонаторов на ПАВ. Они образуются периодическими нарушениями структуры поверхности пьезокристалла. Неоднородности структуры можно создать различными способами. Например, нанесением проводящих или непроводящих полосок на поверхности. При этом происходят частичные отражения поверхностной волны от неоднородностей. Для электрически замкнутых алюминиевых электродов характерны следующие механизмы отражения: закорачивание электрического поля, массовой нагрузки и геометрической неоднородности. Каждый из элементов отражающей решетки отражает лишь малую часть падающей на него акустической волны. В результате синфазного сложения большого числа отраженных волн общий коэффициент отражения на рабочей частоте близок к единице.



Технологический процесс производства ПАВ-резонаторов включает изготовление звукопровода, а также структур встречно-штыревых преобразователей (ВШП) и отражательных решеток (ОР) (рисунок). Погрешности могут быть

по ширине электродов, их длине, толщине, взаимному расположению, возможны разрывы и замыкания электродов и др.

Погрешности геометрических размеров элементов структуры устройств на ПАВ возникают на этапе изготовления фотошаблонов, применения фотошаблонов, а также непосредственно на стадии изготовления структур преобразователей и отражателей методом фотолитографии вследствие неоптимальных режимов технологических процессов.

Погрешности длины, ширины, толщины электродов, их взаимного расположения независимы друг от друга и распределены по нормальному закону, что подтверждается экспериментально [1].

Оценить влияние технологических факторов на резонансную частоту удобно, анализируя уравнение баланса фаз в полости резонатора [2]. Запишем уравнение для половины длины полости:

$$\Phi(f_0) = \Phi_p(f_0) - 2\pi \sum_i l_i / \lambda_i(f_0), \quad (1)$$

где l_i — физическая длина i -го участка в половине резонатора; $\lambda_i(f_0)$ — длина волны на этом участке на частоте f_0 ; $\Phi_p(f_0)$ — фаза отражающей решетки на частоте f_0 . На резонансной частоте $\Phi(f_0) = -m\pi$ (2), m — целое число.

Для рассматриваемого случая уравнения (1), (2) перепишем в виде

$$\begin{aligned}
 -m\pi &= \Phi_p(f_0) - 2\pi \left(\frac{l_{\pi} - 2l_{\text{ВШП}}}{\lambda_{\text{св}}} + \frac{2\pi l_{\text{ВШП}}}{\lambda_{\text{ВШП}}} \right); \\
 -m\pi &= \Phi_p(f_0) - 2\pi \left(\frac{l_{\pi} - 2l_{\text{ВШП}}}{v_{\text{св}}} f_0 + \frac{2\pi l_{\text{ВШП}}}{v_{\text{ВШП}}} f_0 \right), \quad (3)
 \end{aligned}$$

где $v_{\text{св}}$ — скорость ПАВ на свободной поверхности; $v_{\text{ВШП}}$ — скорость ПАВ в пределах ВШП.

Уравнение (3) содержит члены, зависящие от технологического процесса.

Фаза отражения решетки Φ_p зависит от физических параметров материала решетки, геометрических размеров элементов решетки.

Набег фазы в полости определяется: физической длиной полости l_{π} , длиной участков ВШП $l_{\text{ВШП}}$, скоростью ПАВ на участках ВШП.

На частотах, близких к резонансной, фаза решетки описывается линейными соотношениями

$$\Phi_p = \begin{cases} -\pi \frac{f_0 - f_p}{f_p} N_z, & \Delta Z > 0; \\ \pi \left(1 - \frac{f_0 - f_p}{f_p} \right) N_z, & \Delta Z < 0. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь $N_z = 1/\Delta Z$, f_p — резонансная частота решетки; ΔZ — относительное рассогласование импедансов. Преобразуем уравнение (3) с учетом (4) относительно резонансной частоты

$$f_0 = \frac{N_{pp} + N_z}{N_z + \frac{2(l_{\pi} - 2l_{\text{ВШП}})}{v_{\text{св}}} + \frac{2l_{\text{ВШП}}}{v_{\text{ВШП}}}} f_p, \quad (5)$$

где N_{pp} — число полуволн, укладываемых между решетками на резонансной частоте.

Определим коэффициент воздействия погрешностей составляющих факторов на погрешности частоты резонатора. Пренебрегая членами выше второго порядка малости, получаем выражение для ошибки частоты резонатора:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{N_z}{N_z + N_{pp}} \frac{\Delta f_p}{f_p} - \frac{N_{pp}}{N_z + N_{pp}} \frac{\Delta l_{\pi}}{l_{\pi}} - \frac{4N_{\text{ВШП}}}{N_z + N_{pp}} \Delta v \frac{\Delta l_{\text{ВШП}}}{l_{\text{ВШП}}}. \quad (6)$$

Оценим степень влияния технологических факторов на составляющие погрешности в выражении (6). Резонансная частота решетки f_0 зависит от геометрических размеров отражающих полосок и скорости ПАВ на различных участках следующим образом:

$$f_0 = \frac{1}{2 \left(\frac{q}{v_{\text{св}}} + \frac{p}{v_m} \right)}. \quad (7)$$

Здесь v_m — скорость ПАВ на металлизированной поверхности; q, p — ширина неметаллизированной и металлизированной части одного периода неоднородности решетки соответственно.

Рассмотрим случай, когда погрешность периода решетки $d_p = p + q$ много меньше так называемой погрешности скважности решетки. На практике это соблюдается, поскольку период определяется в основном точностью фотошаблона, а скважность — процессом травления пленки. В случае химического травления погрешность скважности является определяющей. Тогда ширину отражающих полосок и расстояние между ними запишем так: $p = p_0(1 + \xi_p)$; $q = q_0(1 - \xi_p)$ (8), где ξ_p — относительная погрешность ширины отражающей полоски.

После подстановки (8) в (7) и преобразований с учетом малости $\xi_p \ll 1$ и $p_0 = q_0$ получаем следующее выражение для резонансной частоты решетки:

$$f_p = f_{p0} \left(1 + \frac{\xi_p}{2} \Delta v \right), \quad (9)$$

в котором

$$\Delta v = \frac{v_M - v_{св}}{v_{св}}.$$

Изменение скорости ПАВ под металлизированной поверхностью связано с закорачиванием тангенциальной составляющей электрического поля и массовой нагрузки поверхности [3]:

$$\Delta v = \frac{1}{2} k^2 \frac{1}{1 + \frac{\epsilon_0}{\epsilon_D} + \frac{k^2}{2}} + F \frac{2\pi}{\lambda} h, \quad (10)$$

где k^2 — коэффициент электромеханической связи; F — функция, связанная с массой металла; h — толщина электрода.

В (10) погрешность толщины пленки влияет на второе слагаемое:

$$\Delta(\Delta v) = F \frac{2\pi}{\lambda} \Delta h,$$

(Δh — отклонение толщины электродов от заданной).

Преобразуем (7) с учетом погрешности ширины и толщины отражательных полосок:

$$f_p = \frac{1 + \frac{1}{2} \Delta v}{v_{св}} + \frac{\frac{1}{2} [\xi_p \Delta v + \Delta(\Delta v)]}{v_{св}}. \quad (11)$$

Здесь первое слагаемое — частота отражательной решетки в отсутствие погрешностей; второе слагаемое характеризует отклонение частоты вследствие погрешностей изготовления отражающих структур.

Относительная погрешность частоты решетки

$$\frac{\Delta f}{f_p} = \frac{\xi_p}{2} \Delta v + \frac{1}{2} \Delta(\Delta v). \quad (12)$$

Второе слагаемое выражения (6) учитывает погрешности расстояния между отражательными решетками Δl_n , которые включают погреш-

ности позиционирования $\Delta l_{\text{поз}}$ и погрешности ширины отражательных полос $\xi_{\rho\rho}$, т. е. $\Delta l_{\text{п}} = \Delta l_{\text{поз}} + 2\xi_{\rho\rho} = \rho$ (13). С учетом (13) второе слагаемое выражения (6) преобразуется так:

$$\frac{N_{\rho\rho}}{N_z + N_{\rho\rho}} \frac{\Delta l_{\text{п}}}{l_{\text{п}}} = \frac{1}{N_z + N_{\rho\rho}} \left(\frac{2\Delta l_{\text{поз}}}{\lambda} + \xi_{\rho\rho} \right). \quad (14)$$

Третье слагаемое выражения (6) характеризует влияние металлизированных участков поверхности, образованных электродами входного и выходного ВШП. В первом приближении

$$\frac{4N_{\text{ВШП}}}{N_z + N_{\rho\rho}} \Delta v \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{4N_{\text{ВШП}}}{N_z + N_{\rho\rho}} \xi_{\rho} \Delta v. \quad (15)$$

После подстановки (12), (14), (15) в (6) имеем

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{N_z + N_{\rho\rho}} \left\{ \left[\left(\frac{N_z}{2} - 4N_{\text{ВШП}} \right) \Delta v_0 - 1 \right] \xi_{\rho} + \frac{N_z}{2} \Delta(\Delta v) - 2 \frac{\Delta'_{\text{ВШП}}}{\lambda} \right\}.$$

Итак, полученное соотношение достаточно полно характеризует влияние технологических погрешностей на резонансную частоту резонатора и может использоваться на этапе проектирования.

Список литературы: 1. Орлов В. С., Бондаренко В. С. Фильтры на ПАВ. М., 1984. 272 с. 2. Хорунжий В. А., Долбня Е. В., Богатов П. Н. Акустоэлектроника. К., 1984. 152 с. 3. Фильтры на ПАВ / Под ред. Г. Метгьюза. М., 1981. 472 с.

Поступила в редколлегию 17.11.87