

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ

Одно из потенциальных преимуществ термодатчиков на поверхностных акустических волнах (ПАВ) – возможность обеспечить конструктивными средствами хороший тепловой контакт между контролируемым объектом и тыльной стороной подложки с ПАВ-структурой. Это выгодно отличает их от датчиков на объемные акустические волны (ОАВ), низкое быстродействие которых является следствием плохой теплопередачи на пьезоэлемент. Как показывают эксперименты, выигрыш ПАВ-датчиков, по сравнению с датчиками на ОАВ, при контроле температуры поверхностей твердых тел при сопоставимых размерах составляет 20:01. Пример реализации термодатчика на ПАВ приведен на рисунке 1. Датчик конструктивно содержит кварцевую подложку с ПАВ-преобразователями, контактирующую с контролируемым объектом своей нижней поверхностью. ПАВ-преобразователь находится в герметизированном, заполненном гелием объеме; соединение с электронной схемой осуществляется через гермовводы.

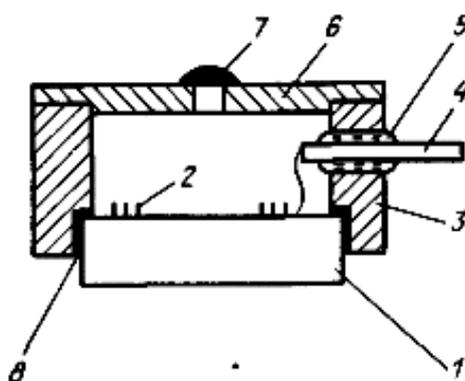


Рис. 1. Термодатчик на ПАВ:

1 – кварцевая подложка; 2 – ВШП; 3 – корпус; 4 – гермоввод; 5 – керамика;  
6 – посеребренная крышка; 7 – герметизирующее уплотнение; 8 – эпоксидный клей

Прямой тепловой контакт подложки с контролируемым объектом вносит и отрицательный момент – появляется паразитная чувствительность датчика к силовому взаимодействию контактирующих поверхностей. Снять этот эффект удастся за счет использования промежуточных тонких слоев смазок с хорошей теплопроводностью.

Эти датчики используют в качестве инструмента неразрушающего контроля состояния поверхностей и приповерхностных слоев материалов и конструктивных элементов.

Задачей математического моделирования является получение теоретических зависимостей выходной величины датчика (изменение частоты поверхностно-акустической волны) от входной величины (изменение концентрации необходимого газа) и получение изменения выходной величины в динамике (зависимость частоты от времени при скачкообразном изменении концентрации).

Изменение резонансной частоты, обусловленное наличием покрытия на поверхности распространения поверхностно-акустической волны, описывается следующим соотношением:

$$\Delta f = (k_1 + k_2) \cdot f_0^2 \cdot h \cdot \rho, \quad (1)$$

где  $\Delta f$  – сдвиг резонансной частоты за счет изменения чувствительным покрытием скорости поверхностно-акустической волны,  $k_1$  и  $k_2$  характеристики пьезоэлектрического материала,  $f_0$  – начальная резонансная частота,  $h$  – толщина чувствительного покрытия,  $\rho$  – его плотность.

Нетрудно заметить, что произведение  $h \cdot \rho$  представляет собой массу покрытия на единицу площади:

$$h \cdot \rho = \frac{m}{s}, \quad (2)$$

где  $m$  – масса покрытия;  $s$  – площадь покрытия.

Таким образом, изменение частоты поверхностно-акустической волны зависит в первую очередь от двух факторов: массы единицы площади пленки и механических свойств пьезоэлектрической подложки.

Скорость изменения величины адсорбции со временем описывается следующим уравнением:

$$\frac{da}{d\tau} = \beta_y \cdot (\bar{c} - c^*), \quad (3)$$

где  $a$  – содержание адсорбируемого вещества – масса адсорбируемого вещества к единице объема адсорбента;  $\beta_y$  – коэффициент массоотдачи;  $\bar{c}$  – концентрации адсорбируемого вещества в парогазовой смеси инертного газа (входной параметр);  $c^*$  – концентрация адсорбируемого вещества в парогазовой смеси, равновесная поглощенному единицей объема количеству вещества, которая определяется по изотерме адсорбции.

Подставляя числовые значения всех вышеперечисленных переменных в уравнение скорости адсорбции, а величину адсорбции в уравнение изменения частоты поверхностно-акустической волны и добавив к этому начальные и граничные условия, получаем искомые зависимости величины адсорбции от времени и изменение частоты от времени.

Для математического получения градуировочной характеристики ПАВ датчика воспользуемся уравнением:

$$a = \beta_y \cdot \bar{c}. \quad (4)$$

И подставив полученное тем самым значение величины адсорбции в уравнение зависимости изменения частоты поверхностно-акустической волны, получим градуировочный график (рис. 2).

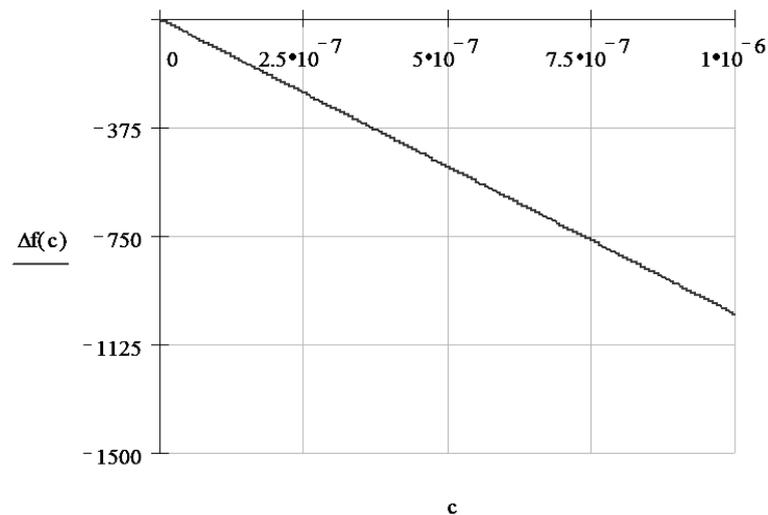


Рис. 2. Градуировочный график ПАВ сенсора

Как видно из этого графика, зависимость изменения частоты поверхностно-акустической волны от концентрации – величина линейная. Таким образом, получаем еще одно подтверждение перспективности использования поверхностно-акустических датчиков в качестве газовых сенсоров низких концентраций.