

03;08;12

Газовый датчик сорбционного типа на поверхностных акустических волнах, чувствительный к тепловым свойствам газов

© Р.Г. Крышталь, А.П. Кундин, А.В. Медведь, В.В. Шемет

Институт радиотехники и электроники РАН, Фрязино
E-mail: avm@ms.ire.rssi.ru

Поступило в Редакцию 3 сентября 2001 г.

Описывается принцип построения газового датчика на ПАВ, который, по существу являясь датчиком сорбционного типа, обладает еще и некоторыми свойствами датчиков на ПАВ теплотметрического типа. То есть, предлагается датчик, способный детектировать не только пары летучих веществ, но и газы по их тепловым свойствам. При этом сохраняются высокая термостабильность и быстродействие датчика, в отличие от известных ПАВ-датчиков теплотметрического типа. Описывается вариант конструкции датчика на основе ПАВ-линии задержки на LiNbO_3 и приводятся некоторые результаты его экспериментального исследования на примере детектирования пропана-бутана.

Устройства на поверхностных акустических волнах (ПАВ) чувствительны к состоянию поверхности звукопровода, по которому эти ПАВ распространяются. Адсорбция молекул на поверхность звукопровода приводит к изменению параметров распространения ПАВ, что вызывает изменение сигнала на выходе устройства. В этом состоит принцип действия газовых датчиков на ПАВ сорбционного типа. Для получения избирательности на поверхность звукопровода наносится слой специального вещества, обладающего абсорбционной способностью по отношению к тем или иным химическим соединениям. Такие газовые датчики на ПАВ находят все более широкое применение, в том числе и в сенсорных решетках современных газовых анализаторов типа "электронный нос" [1]. Однако наилучшие результаты по воспроизводимости и стабильности параметров получаются для датчиков на ПАВ без чувствительных покрытий [2]. Эти датчики обычно не обладают селективностью и способны детектировать лишь пары летучих веществ,

молекулы которых адсорбируются на рабочей поверхности датчика. Тем не менее такие датчики применяются в устройствах, основанных на портативных хроматографах, для обнаружения и распознавания летучих соединений [3]. Современные хроматографы весьма универсальны, поэтому требуются и датчики на ПАВ, способные детектировать не только пары летучих веществ, но и постоянные и горючие газы.

В настоящей работе описывается принцип построения газового датчика на ПАВ сорбционного типа, который обладает и некоторыми свойствами датчиков на ПАВ теплотметрического типа [4]. Этот датчик способен детектировать как пары летучих веществ, так и газы по их тепловым свойствам. При этом сохраняются высокая термостабильность и быстродействие, в отличие от известных ПАВ-датчиков теплотметрического типа. Описывается вариант конструкции датчика на основе ПАВ-линии задержки со звукопроводом из $128^\circ\text{Y-X LiNbO}_3$ и приводятся некоторые результаты его экспериментального исследования на примере детектирования пропана-бутана бытового назначения.

Для термостабилизации в современных ПАВ-датчиках сорбционного типа используются термоэлектрические элементы Пельтье (ТЭЭ) [3,5]. Собственно чувствительный элемент датчика (линия задержки или резонатор на ПАВ) монтируется непосредственно на рабочую поверхность ТЭЭ. На рис. 1 приведены результаты измерения фазы выходного сигнала исследуемого нами ПАВ-датчика на основе линии задержки со звукопроводом из $128^\circ\text{Y-X LiNbO}_3$ и центральной частотой 486 MHz [5] при заданном изменении температуры рабочей поверхности ТЭЭ на 1° , происходящем с максимально возможной для используемой нами системы термостабилизации скоростью. Видно, что температура звукопровода полностью устанавливается за время ≈ 5 s, причем наиболее быстро она изменяется в течение первой секунды после переключения температуры ТЭЭ. Можно предположить, что примерно с такой же скоростью будет происходить возврат температуры звукопровода к исходному значению в случае внешнего теплового воздействия на него. Такое воздействие может вызвать вводимый в измерительную камеру исследуемый газ, отличающийся по своим тепловым свойствам (теплопроводности и теплоемкости) от ранее протекающего через камеру газа (газа-носителя).

При разумных значениях скорости потока газа через измерительную камеру и разности температур звукопровода и вводимого газа это внешнее воздействие практически не изменит температуру звукопровода, так как система термостабилизации быстро скомпенсирует это изменение температуры. Действительно, в эксперименте по детектированию

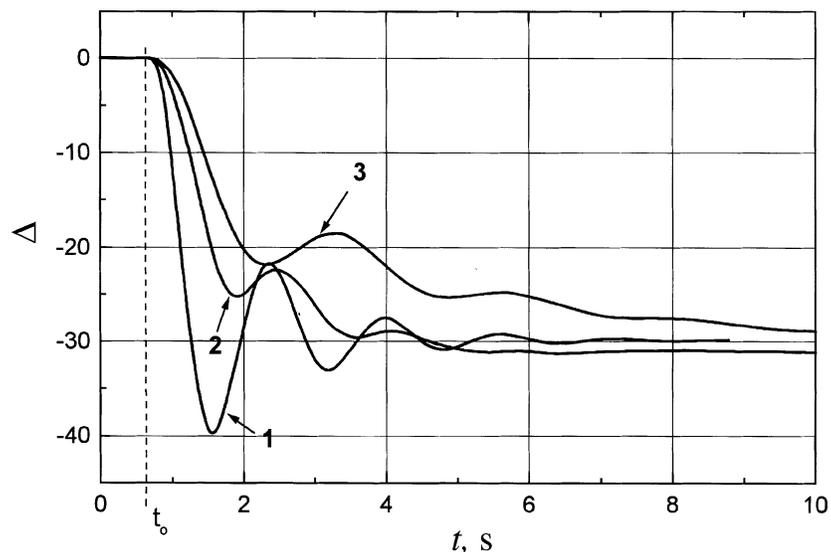


Рис. 1. Измеренные зависимости изменения фазы выходного сигнала от времени при изменении температуры рабочей поверхности ТЭЭ на 1°C с 57.3 до 58.3°C . 1 — прокладка между звукопроводом и поверхностью ТЭЭ отсутствует, 2 — между звукопроводом и ТЭЭ имеется одна стеклянная пластинка, 3 — между звукопроводом и ТЭЭ имеется две пластинки. t_0 — момент начала изменения температуры.

пропана-бутана отклик датчика (изменение фазы входного сигнала) не превышал 0.5 градуса фазы.

Для детектирования газов по их тепловым свойствам необходима некоторая задержка в срабатывании системы термостабилизации. Реализовать такую задержку можно, в частности, путем задержки потока тепла между рабочей поверхностью ТЭЭ и звукопроводом. С этой целью между звукопроводом и ТЭЭ помещались тонкие (0.25 mm) стеклянные пластины, склеенные с поверхностью ТЭЭ, звукопроводом и между собой термопроводящей пастой. Представленные на рис. 1 результаты измерений показали, что при скачкообразном изменении температуры рабочей поверхности ТЭЭ на 1° процесс установления равновесной температуры звукопровода в этом случае идет медленнее и

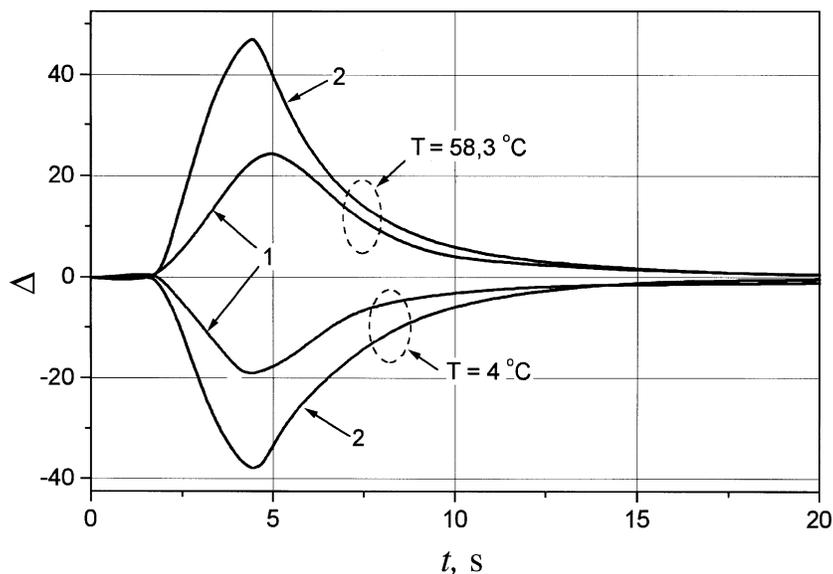


Рис. 2. Отклики ПАВ-датчика при наличии стеклянных прокладок между звукопроводом и ТЭЭ при введении в измерительную камеру пропана-бутана для двух значений температуры звукопровода $T = 58.3$ и 4°C (точность поддержания температуры была не хуже $\pm 0.003^\circ\text{C}$ в течение 10 min): 1 — одна прокладка толщиной 250μ ; 2 — две прокладки. Температура вводимого газа (стенки камеры) 30°C .

тем медленнее, чем больше имеется прокладок между звукопроводом и рабочей поверхностью ТЭЭ. ПАВ-датчик со стеклянными прокладками использовался в экспериментах по детектированию газа пропана-бутана. В этих экспериментах измерительная камера (объем $\approx 2 \text{ cm}^3$) с ПАВ-датчиком и ТЭЭ, а также подводная газ металлическая капиллярная трубка помещались в термостат с постоянной температурой $30 \pm 1^\circ\text{C}$ и точностью ее поддержания не хуже $\pm 0.1^\circ\text{C}$. Через измерительную камеру протекал азот (газ-носитель) с постоянной скоростью $70 \text{ cm}^3/\text{min} \pm 1\%$. Проба исследуемого газа объемом 4 cm^3 вводилась в газ-носитель стандартным для газовой хроматографии способом с помощью шестиходового крана-дозатора. На рис. 2 представлены отклики датчика со стеклянными пластинами при введении в измерительную

камеру пропана-бутана для двух значений температуры звукопровода. Знак изменения фазы оказался положительным (охлаждение звукопровода) при температуре звукопровода выше температуры вводимого газа (стенок камеры) и отрицательным (нагрев звукопровода) при температуре звукопровода ниже температуры газа. Анализ показывает, что, по-видимому, главный вклад в формирование отклика дает разность теплоемкостей азота $1.04 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ и пропана-бутана $1.04 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, а не их теплопроводностей ($2.4 \cdot 10^{-4} \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ у азота и $1.43 \cdot 10^{-4} \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ у пропана-бутана). Отклик датчика (с одной стеклянной прокладкой) на смесь 5 объемных % пропана-бутана и 95% азота при скорости потока $70 \text{ cm}^3/\text{min}$, температуре звукопровода 58°C и температуре газа 30°C составил 2.5 градуса фазы, т.е. вполне измеряемую величину (в нашем эксперименте надежно измеряемое минимальное изменение фазы равнялось 0.2 градусам).

При детектировании ПАВ-датчиком со стеклянными прокладками между рабочей поверхностью ТЭЭ и звукопроводом паров ряда спиртов и воды при температуре звукопровода ниже температуры вводимого газа были получены практически такие же отклики, как и в [5], где использовался аналогичный ПАВ-датчик, но с "обычной" системой термостабилизации.

Таким образом, впервые описан принцип построения ПАВ-датчика, способного детектировать как пары летучих веществ, так и постоянные и горючие газы. При этом датчик обладает высоким термостабильностью и быстродействием, присущими ПАВ-датчикам сорбционного типа. Для практического использования предлагаемого датчика нужны дальнейшие исследования по оптимизации параметров конструкции и режимов его работы.

Список литературы

- [1] *Nagle H.T., Schiffman S.S., Gutierrez-Osuna R.* // IEEE Spectrum. 1998. September. P. 22–31.
- [2] *Watson G.W., Horton W., Staples E.J.* // Proc. 1991. Ultrasonic Symposium. P. 305–309.
- [3] *Staples E.J.* // Proc. 1999. IEEE Ultrasonic Symposium. P. 417–424.
- [4] *Анисимкин В.И., Максимов С.А., Пенза М., Васанелли Л.* // ЖТФ. 1997. Т. 67. В. С. 119–123.
- [5] *Гуляев Ю.В., Земляков В.Е., Крышталъ Р.Г., Медведь А.В., Шемет В.В., Хоанг Ван Фонг* // Акустич. журнал. 2001. Т. 47. № 1. С. 39–42.