УДК 541.183.5+548.571

## ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ГАЗОВЫЙ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

© 2001 г. Ю. В. Гуляев, В. Е. Земляков, Р. Г. Крышталь, А. В. Медведь, Хоанг Ван Фонг\*, В. В. Шемет

Институт радиотехники и электроники РАН 141120 Фрязино, Московская обл., пл. Ак. Введенского, 1 e-mail: avm@ms.ire.rssi.ru

\* Технический университет, г. Ханой, Вьетнам Поступила в редакцию 10.05.2000 г.

Описывается перестраиваемый газовый датчик на поверхностных акустических волнах (ПАВ), в основе конструкции которого лежит волноводная линия задержки, изготовленная на пьезоэлектрической подложке из 128° Y-среза LiNbO<sub>3</sub>. Приложенное между волноводом и двумя электродами напряжение приводит к локальному изменению свойств подложки вблизи волновода и по-разному сказывается на отклике датчика на пары различных аналитов. Приводятся некоторые результаты экспериментального исследования датчика, демонстрирующие перестройку селективности под действием электрического напряжения. В качестве тестовых аналитов использовался ряд спиртов и денонизованная вода. Обсуждаются возможности использования такого датчика в решетках датчиков газового анализатора типа "электронный нос".

Газовые датчики на поверхностных акустических волнах (ПАВ) в настоящее время находят широкое применение в газовых анализаторах типа "электронный нос" [1]. Основной частью этого прибора является так называемая решетка датчиков – набор из некоторого числа датчиков, которые обладают различной чувствительностью к различным химическим веществам. Различие откликов достигается здесь за счет использования соответственных чувствительных покрытий на каждом датчике решетки. Принцип работы таких датчиков описан в [2]. Основной недостаток, присущий этим датчикам, заключается в неодинаковой скорости старения чувствительных покрытий, что приводит к необходимости многократной калибровки электронного носа. В [3] авторы предлагают решетку из четырех ПАВ-датчиков, использующих только один чувствительный слой для всей решетки. Однако и этот подход позволит лишь частично компенсировать недостатки связанные со старением чувствительного покрытия.

В настоящей работе описывается перестраиваемый газовый ПАВ-датчик, селективность которого определяется не свойствами чувствительного покрытия, а величиной электрического напряжения, определенным образом приложенного к металлическому волноводу, по которому распространяется ПАВ.

Конструкция датчика схематично изображена на рис. 1. В качестве подложки был использован пьезоэлектрической кристалл LiNbO<sub>3</sub>,  $128^{\circ}$  Y-среза, размером  $12 \times 5 \times 0.25$  мм. Для возбуждения и

приема ПАВ использовались два встречно-штыревых преобразователя (ВШП) (1). Каждый ВШП состоял из 30-ти пар электродов, с пространственным периодом - 8 мкм и апертурой 110 мкм. Расстояние между ВШП было 6.5 мм. Алюминиевый ПАВ-волновод (2) в виде узкой полоски шириной 24 мкм и длиной 5 мм вместе с акустическими концентраторами (3) и электродами волновода (4) был расположен между ВШП. Электроды находились на расстоянии всего лишь 30 мкм от волновода, это позволяло получать сильные электрические поля вблизи волновода при сравнительно небольших значениях напряжения на нем. Вносимые потери линии задержки (с ПАВ-волноводом), которую, по существу, представляет собой рассматриваемый ПАВ-датчик, на основной частоте 486 МГц в 50-омном тракте и без согласую-

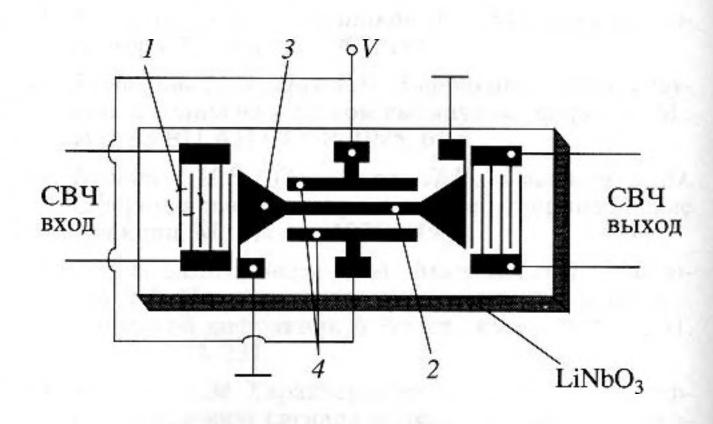
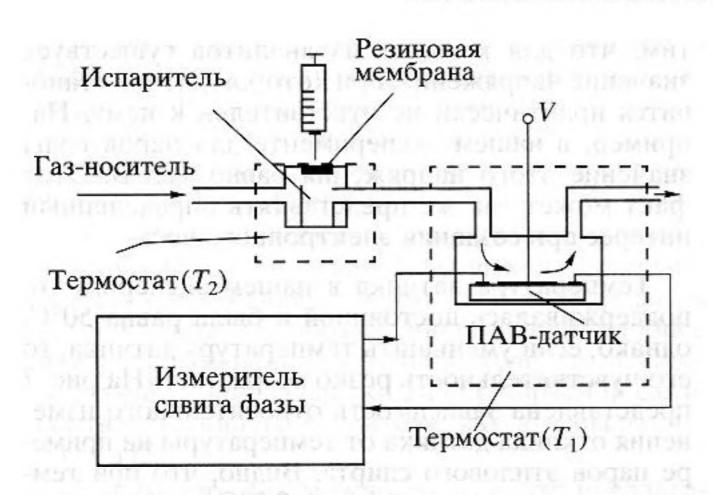


Рис. 1. Конструкция ПАВ-датчика.

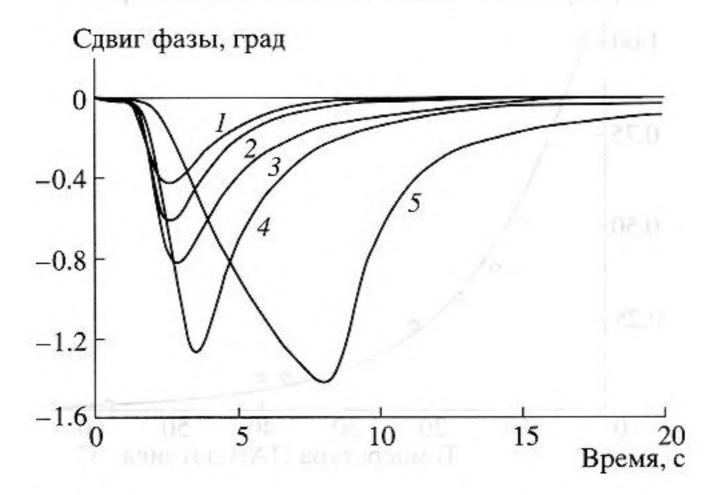


**Рис. 2.** Экспериментальная установка для исследования ПАВ-датчика.

щих элементов, составили – 15 дБ. Полоса пропускания на уровне 3 дБ равнялась 18 МГц. Впервые такая акустическая линия задержки была использована авторами [4], [5] в высокочувствительных датчиках электрического напряжения и в фазовращателях на ПАВ.

Заметим, что в конструкции описываемого ПАВ-датчика не использовались специальные чувствительные покрытия, если не считать таковым сам алюминиевый волновод. Тем не менее, в случае необходимости такая возможность не исключается. Чувствительная пленка может быть нанесена прямо на ПАВ-волновод датчика.

Для измерения отклика датчика использовалась экспериментальная установка, показанная схематично на рис. 2. Исследуемый ПАВ-датчик в металлическом корпусе с электрическими вы-



**Рис. 3.** Измеренные сдвиги фазы сигнала ПАВ, как функция времени (отклики датчика) для различных спиртов при отсутствии электрического напряжения на волноводе.

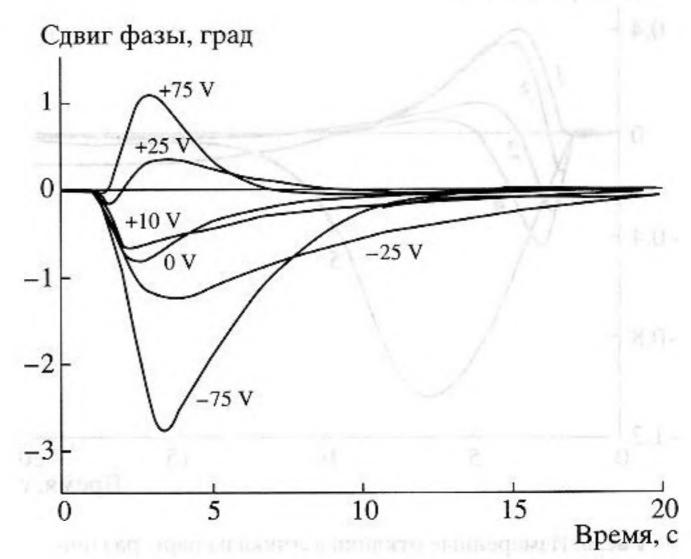
1 — метанол, 2 — пропанол-2, 3 — этиловый спирт, 4 — пропанол, 5 — изоамиловый спирт.

водами для подключения к измерительной аппаратуре и штуцерами, для подачи и отвода газа помещался в термостат Т1, в котором поддерживалась постоянная температура 50°C ± 0.05°C. Внутренний объем металлического корпуса был около 2 см³. В качестве газа—носителя использовался азот. Скорость газового потока в эксперименте равнялась 30 см³/мин ± 1%. Тестовые аналиты в виде жидкости объемом 0.1 мкл с помощью микрошприца подавали в испаритель, помещенный в термостат Т2 с постоянно поддерживаемой температурой 135°C. Эта температура была выше температуры кипения всех используемых в эксперименте аналитов.

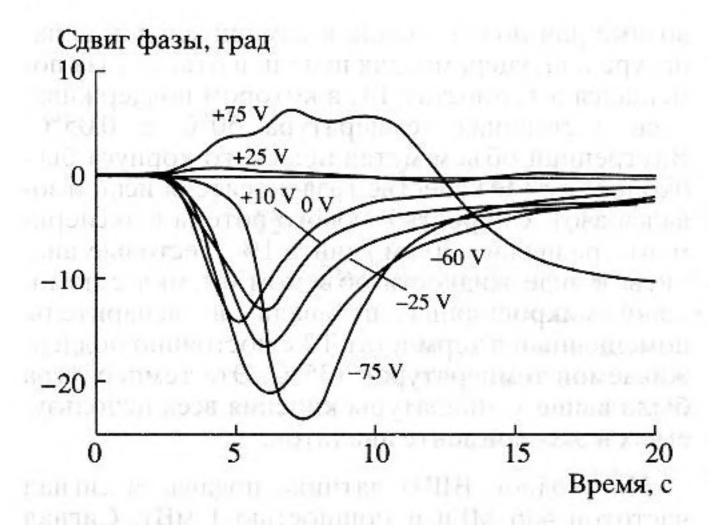
На входной ВШП датчика подавался сигнал частотой 486 МГц и мощностью 1 мВт. Сигнал снимался с выходного ВШП, и с помощью фазометра измерялся сдвиг фазы сигнала как функция времени (отклик ПАВ-датчика).

В эксперименте измерялся отклик датчика на пары спиртов (этилового, метилового, изопропилового, пропилового, изоамилового) и деионизованной воды при различных значениях напряжения, подаваемого на электроды волновода датчика.

На рис. 3 представлены измеренные отклики датчика на различные спирты в отсутствии напряжения на электродах волновода (в этом случае волновод и электроды электрически закорочены). Видно, что ПАВ-датчик четко различает спирты даже без чувствительного пленочного покрытия. И это понятно: поскольку физические свойства различных спиртов (температура кипения, плотность, вязкость, давление насыщенных паров) отличаются друг от друга, то они и по-раз-



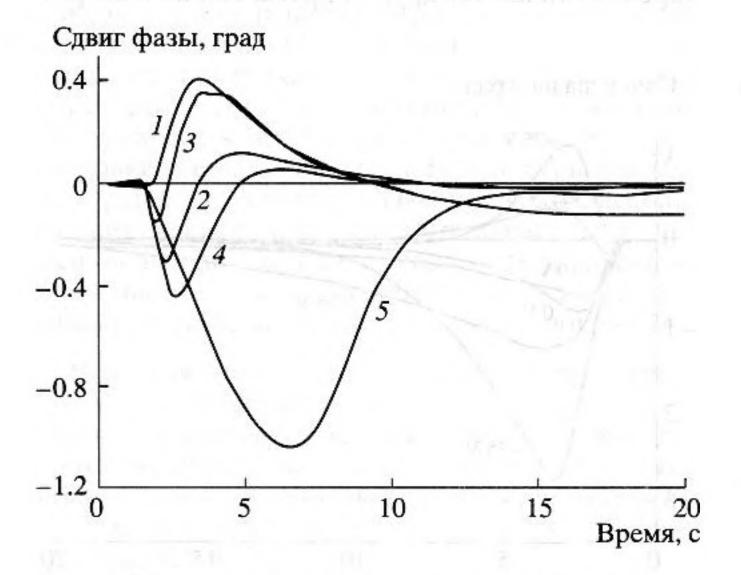
**Рис. 4.** Измеренные отклики датчика на пары этилового спирта при различных значениях электрического напряжения на волноводе.



**Рис. 5.** Измеренные отклики датчика на пары воды при различных значениях электрического напряжения на волноводе.

ному влияют на распространение ПАВ при адсорбции и десорбции молекул спиртов.

Приложенное на электроды волновода напряжение меняет картину откликов датчика. Это отчетливо показано на примере откликов на пары этилового спирта (см. рис. 4) и воды (см. рис. 5). Отрицательное напряжение увеличивает, а положительное — уменьшает величину откликов датчика и даже меняет их знак на противоположный, когда оно достаточно велико. Из рисунка 6 видно, что одно и то же значение электрического напряжения (в нашем эксперименте это +25 В), приложенного к волноводу, по-разному влияет на отклик датчика на пары различных спиртов. Отме-



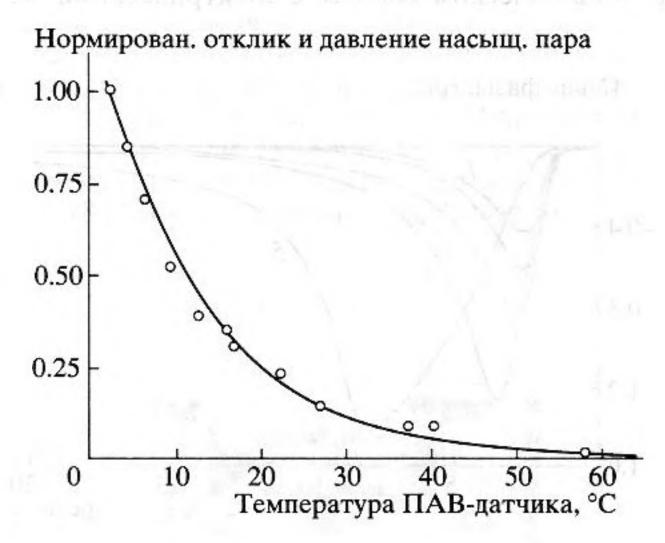
**Рис. 6.** Измеренные отклики датчика на пары различных спиртов при значении напряжения на электродах волновода 25 В.

І – метанол, 2 – пропанол-2, 3 – этиловый спирт, 4 – пропанол, 5 – изоамиловый спирт.

тим, что для каждого из аналитов существует значение напряжения, при котором датчик становится практически не чувствителен к нему. Например, в нашем эксперименте для паров воды значение этого напряжения равно +25 В. Этот факт может так же представлять определенный интерес при создании электронного носа.

Температура датчика в нашем эксперименте поддерживалась постоянной и была равна 50°C, однако, если уменьшить температуру датчика, то его чувствительность резко возрастает. На рис. 7 представлена зависимость относительного изменения отклика датчика от температуры на примере паров этилового спирта. Видно, что при температуре датчика примерно 2.3°C величина его отклика возрастает примерно в сто раз, по сравнению с величиной отклика при температуре датчика 50°С. Следовательно, во столько же раз возрастает и чувствительность датчика при его охлаждении. На этом же рисунке сплошной линией показана теоретическая зависимость относительного изменения давления насыщенного пара этилового спирта от температуры. Измеренные значения отклика датчика (экспериментальные точки) при различной температуре, полученные для паров этилового спирта, хорошо "ложатся" на эту кривую.

Физический механизм влияния приложенного к датчику напряжения на его отклик в настоящее время для нас не является полностью понятным. Мы полагаем, что несколько факторов одновременно вносят свой вклад в это явление. Наиболее значительный из них, по-нашему мнению, — это зависимость отклика датчика на данный газ от из-



**Рис. 7.** Измеренная зависимость отклика датчика от его температуры (экспериментальные точки). Аналит—этиловый спирт.

Сплошная линия – рассчитанная зависимость нормированного давления насыщенного пара этилового спирта от температуры. менений компонент механических смещений в ПАВ при действии электрических полей [6]. Среди других факторов следует упомянуть о возможном влиянии электрических полей на процессы адсорбции и десорбции молекул аналита на рабочей поверхности датчика.

В нашем эксперименте в качестве отклика датчика измерялся сдвиг фазы выходного сигнала. Для сопряжения с современными цифровыми устройствами обработки информации удобнее измерять изменение частоты выходного сигнала, включив линию задержки в цепь обратной связи соответствующего усилителя, как это было сделано в [5].

Таким образом, можно сказать, что предлагаемый нами датчик обладает возможностью перестройки химической селективности и, следовательно, хорошо подходит для использования в решетке датчиков электронного носа. В частности, набрав решетку из любого числа совершенно одинаковых датчиков и приложив различное электрическое напряжение к различным датчикам, можно сделать различной и их селективность.

TREADER OF THE AMERICAN WAS RESIDENCE OF CHARGON OFFICE

-HEPTHERDON MARKETON LUTTED HINCA ATMININGTONION BUT

PRODUCED DESCRIPTION OF THE PROPERTY OF THE PARTY OF

TO REPORT A PRODUCT OF THE PROPERTY OF THE PRO

PATE ALL DONNERS TO THE WAY THE WAY TO SEE A SHIP TO SEE AND THE SECOND SECOND

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Nagle H.T., Schiffman S.S., Gutierrez-Osuna R. The how and why of electronic noses // IEEE Spectrum. 1998. September. P. 22-31.
- Holmberg M., Wingust F., Lundström I., Davide F., Natale C., D'Amico A. Drift counteraction for an electronic nose // Sensors and Actuators B. 1996. 35–36. P. 528–535.
- Anisimkin V.I., Kryshtal R.G., Medved A.V., Verona E., Zemlyakov V.E. Integrated array of gas sensors // Electron. Lett. 1998. V. 34. № 13. P. 1360–1361.
- Gulyaev Yu.V., Mal'tzev O.A., Medved A.V., Mishkinis R.A. Tunable phase shifter on the basis of Δv/v acoustical waveguide // Technical Physics Lett. (Russian original). 1985. V. 11. № 13. P. 824–828.
- Medved A.V., Mishkinis R.A., Rutkovsky P.F. Highly sensitive electrostatic voltage sensor on SAW double waveguide // Electron. Lett. 1990. V. 26. № 14. P. 973– 974.
- Anisimkin V.I., Kotelyanskii I.M., Fedosov V.I., Caliendo, C., Verrardi P., Verona E. Analysis of the different contributions to the response of SAW gas sensors // Proc. 1995. IEEE Ultrason. Symp. Seattle. USA. V. 1. P. 207-212.

TORROW COURS SOTH MOTOPIAC, BRANNOGORCE OR C

тальном и вольст образуют сполную интерф.

-мике не не инжентильной и минетрилем от виобиния

terre l'A dell'espedientitogen de la la constitución de la constitució

-INTEL STORY OF THE PROPERTY O

LE TEMPLESSERTSTONES STREET QUY METSESQUE KHMOQ

- SSOSTICKER TO LUIT MEMBERSHITCHGO SHOO

"Носиедови" слуг в перву со съврод с потторесует

-DER LOVES VIEW THITIMOTORS OF REPORTS HE WE ASSESSED.

THE RESIDENCE OF STREET AND ADDRESS OF THE PARTY OF THE P

-- The production into a country on which is a swan

## A Tunable Gas Sensor Using an Acoustic Waveguide

Yu. V. Gulyaev, V. E. Zemlyakov, R. G. Kryshtal', A. V. Medved', Khoang Van Fong, and V. V. Shemet

A tunable gas sensor using surface acoustic waves (SAW) is described. It is designed on the basis of a waveguide delay line fabricated on a piezoelectric substrate made of 128° Y-cut LiNbO<sub>3</sub>. A voltage applied between the waveguide and two electrodes causes a local change in the properties of the substrate near the waveguide and differently affects the sensor's response to the vapors of various analytes. Some results of the experimental study of the sensor, which show the change in the selectivity under the effect of voltage, are presented. The analytes used for testing include a number of alcohols and deionized water. The possibilities for employing such a sensor in the sensor arrays of gas analyzers of the electronic nose type are discussed.