

Д. ф.-м. н. Я. И. ЛЕПИХ

Украина, Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова
E-mail: ndl_lepikh@mail.ru

Дата поступления в редакцию
03.12 2004 г. — 01.03 2005 г.

Оппонент д. т. н. В. В. НОВИКОВ
("Авангард-Элионика", г. С.-Петербург)

АКУСТОЭЛЕКТРОННЫЕ СЕНСОРЫ ГАЗА СО СЛОИСТЫМИ СТРУКТУРАМИ

Приведены результаты разработки и исследований слоистых акустоэлектронных сенсоров газа с адсорбционными пленками Ленгмюра–Блоджетт на поверхности звукопровода.

Поиск новых перспективных принципов, материалов и эффективных методов создания микроэлектронных сенсоров газа остается актуальной задачей.

Исследованиям слоистых структур "адсорбционная пленка — пьезоэлектрический звукопровод элемента на поверхностных акустических волнах (ПАВ)" в последнее время уделяется повышенное внимание [1—3] в связи с возможностью создания на их основе сенсоров газа, отличающихся от аналогов не только высокими метрологическими параметрами, но и перспективами их интеллектуализации. Особенно многообещающими являются структуры с пленками Ленгмюра–Блоджетт (Л–Б) на поверхности пьезоэлектрических звукопроводов элементов на ПАВ.

Техника эксперимента. Исследовавшиеся газочувствительные сенсоры с элементами на ПАВ с бегущей волной представляли собой звукопровод с встречно-штыревыми преобразователями (ВШП) и нанесенной на рабочую поверхность пленочной структурой. Элементы на ПАВ изготавливались по тонкопленочной технологии, основными операциями которой являются вакуумное напыление и фотолитография. Исследовались резонансные и фильтровые системы ВШП. Использовались пьезокерамика системы ЦТС и пьезокварц различных срезов.

Фильтровая система ВШП элементов на ПАВ имела топологию аподизированных электродов, а целый элемент — классическую структуру: два ВШП, генерирующий и детектирующий ПАВ, которые вместе формировали АЧХ узкополосного фильтра. Такое построение элемента на ПАВ позволяет легко фиксировать изменение центральной (рабочей) частоты, амплитуды сигнала на центральной частоте либо в полосе пропускания фильтра, а площадь звукопровода между ВШП позволяет варьировать топологию адсорбирующей пленки. Геометрические параметры адсорбирующей пленки, наносимой на рабочую поверхность звукопровода, выбирались исходя из требований обеспечения стабильности распространения на поверхности только волны Рэлея и исключения ее трансформации в другие типы волн [4].

На рис. 1 показана структура элемента на ПАВ с адсорбирующей пленкой. Здесь же показаны возможные варианты трансформаций волны Рэлея 1 в дисперсионную волну Сезава 2 либо объемную сдвиговую волну Лява 3 в зависимости от соотношения геометрических размеров пленки и длины волны. Конструктивное решение элемента на ПАВ обеспечивает возможность использования одновременно и двух информативных параметров сигнала сенсора — частоту и амплитуду, что может существенно повысить метрологические характеристики сенсоров и обеспечить его интеллектуализацию с меньшей потерей информативности измерений вследствие меньшего числа этапов преобразования полезного сигнала.

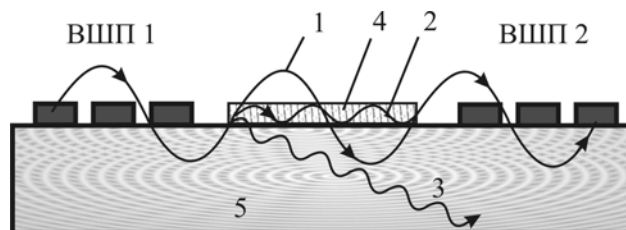


Рис. 1. Структурная схема сенсора газа с элементом на ПАВ и адсорбционной пленкой:

ВШП 1, ВШП 2 — соответственно генерирующий и детектирующий преобразователи ПАВ; 1 — волна Рэлея; 2 — волна Сезава; 3 — сдвиговая волна; 4 — сорбирующая пленка; 5 — звукопровод

Сорбционные пленочные структуры наносились на рабочую поверхность звукопровода различными способами — иглой, кисточкой, центрифугированием, поливом и методом Ленгмюра–Блоджетт. В данной работе представлены результаты исследований сенсоров с элементами на ПАВ с фильтровой структурой и пленками Л–Б.

Для получения Л–Б-пленок использовалась установка типа УНМ-2 (НИОПИК). Определение момента образования монослоя амфифильных молекул на поверхности воды в ванне осуществлялось с помощью весов Вильгельми.

В качестве сорбционных материалов использовались различные полимеры, неорганические соединения, а также новый класс перспективных материалов — комплексонов германия [5]. Сенсорные свойства образцов исследовались в среде паров воды, паров аммиака (10%), изопропилового спирта (96%) и уксусной кислоты (50%).

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты экспериментальных исследований показаны на примере сенсора с Л-Б пленкой из стеарата натрия $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{COONa}$.

Исходя из актуальности задачи интеллектуализации сенсора, в качестве основного параметра выходного сигнала была принята частота сигнала, детектируемого выходным ВШП элементом на ПАВ. Такой подход обеспечивает более простое решение задачи сопряжения сенсора с ЭВМ.

На рис. 2 показан ПАВ-отклик сенсора с Л-Б-пленкой $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{COONa}$ на кратковременное (t) действие паров аммиака. Видно, что сенсор обладает высокой чувствительностью по отношению к парам аммиака. Менее чем за 5 с передний фронт отклика возрастает до 2 кГц изменения (Δf) рабочей частоты сенсора (10 МГц). После отключения источника паров аммиака сигнал резко снижается — примерно в два раза приблизительно за 1 с. Существенно, что десорбция газа из пленки происходит без подогрева.

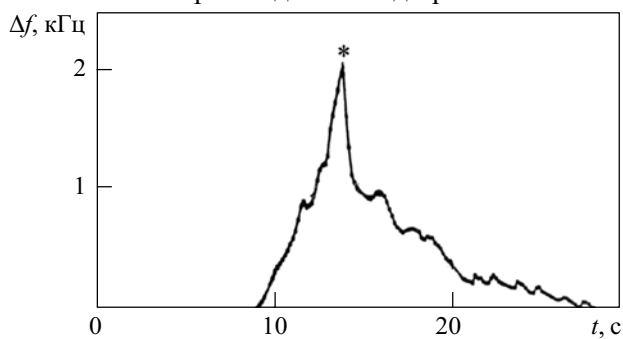


Рис. 2. ПАВ-отклик сенсора с Л-Б-пленкой $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{COONa}$ на пары аммиака:
* — момент отключения источника газа

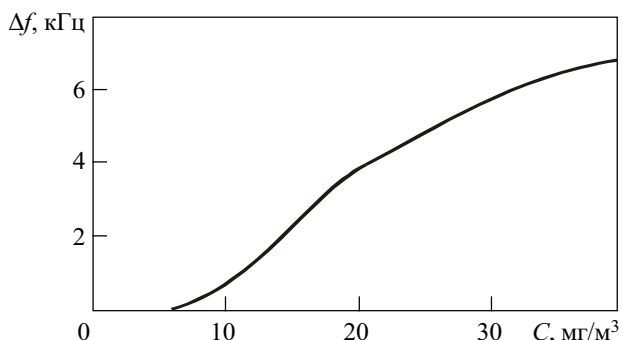


Рис. 3. Зависимость смещения рабочей частоты сенсора с Л-Б-пленкой $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{COONa}$ от концентрации аммиака C

На рис. 3 приведена зависимость изменения рабочей частоты сенсора от концентрации газа. Столь высокие чувствительность и быстроедействие сенсора определяются главным образом рецепторными свойствами Л-Б-пленки $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{COONa}$, приводящими вследствие процесса сорбции-десорбции газа к изменению условий распространения ПАВ и, соответственно, к адекватному изменению рабочей частоты.

Изменением материала пленки на рабочей поверхности ПАВ можно достичь изменения «узнаваемости» иных молекул газа.

Как показывает анализ, характеристики сенсора таковы, что приборное решение измерений концент-

рации газов с применением микропроцессорной техники обеспечивает его работу в режиме on-line.

На характеристики сенсора в немалой степени влияют электрофизические параметры и акустические характеристики пьезоэлектрического звукопровода. Материалы, относящиеся к сильным пьезоэлектрикам, например пьезокерамика системы ЦТС (большое значение коэффициента электромеханической связи K_p), обеспечивают, в частности, достижение более высоких значений чувствительности сенсора. Существенную роль в формировании характеристик сенсоров играют геометрические параметры адсорбционной пленки, соотношение значений акустических импедансов пленки и пьезоэлектрического звукопровода.

Одним из скрытых факторов негативного влияния на характеристики сенсоров, как указывалось выше, является трансформация ПАВ Рэлея в дисперсионные волны Сезава или сдвиговые волны (см. рис. 1). В данном сенсоре эти эффекты максимально учтены, что позволило обеспечить адекватность ПАВ-отклика изменению параметров газовой среды.

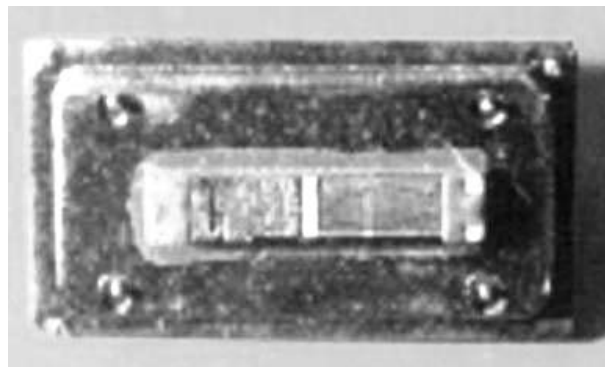


Рис. 4. Опытный образец сенсора газа

Конструктивно сенсор (рис. 4) выполнен в металлоглазном корпусе с отверстиями в крышке.

Заключение. Акустоэлектронные сенсоры газов со структурой «пленка Ленгмюра–Блоджетт — поверхность пьезозвукопровода» в силу высоких метрологических параметров являются весьма перспективным классом сенсоров. Особенность их еще и в том, что процесс адсорбции-десорбции происходит достаточно быстро без подогрева, чем обеспечивается возможность работы в режиме on-line.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Крышталь Р. Г., Кундин А. П., Медведь А. В. и др. Газовый датчик сорбционного типа на поверхностных акустических волнах, чувствительный к тепловым свойствам газов // Письма в ЖТФ. — 2002. — Т. 28, вып. 2. — С. 25.
2. Лепих Я. И., Хоменко М. В. Сенсоры на поверхностных акустических волнах с пленочными структурами / Тр. науч.-практ. конф. "СИЭТ-2003". — Одесса. — 2003. — С. 336.
3. Benetti M., Cannata D., D'Amico A. et al. SAW sensors on AlN/DLC/Si structures / Abstr. A Confer. of the IEEE Sensors. — Vienne, Austria. — 2004. — P. 168.
4. Lepikh Ya. I. The state and prospects of the sensors electronics based on acoustoelectronic phenomena // Sensor electronics and microsystem technologies. — 2004. — N 1. — P. 45—58.
5. Лепих Я. И., Смынгина В. А. Функциональные материалы на основе комплексных соединений германия // Письма в ЖТФ. — 2000. — Т. 26, вып. 4. — С. 72—74.