

Применение указанных модулей позволило обеспечить заданную точность позиционирования при высокой производительности. Тем самым на практике подтверждена эффективность использования мехатронных модулей при создании указанного класса оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рассудов, Л. Н. Системы на кристалле: Новые возможности управления сервоприводом. / Л. Н. Рассудов, А. П. Балковой // Труды VIII международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014, – Саранск, 07–09 октября 2014 г. – Саранск, 2014. – Т.1 стр. 38–43.
2. Мехатроника, автоматизация, управление = Mechatronics, automation, control: первая Всероссий. науч.-техн. конф. с междунар. участием, Рос. Федерация, г. Владимир, Владим. гос. ун-т, 28–30 июня 2004 г.: труды / В. Ф. Коростелев, Н. Б. Филимонов. – М. : Новые технологии, 2004. – 508 с.
3. Игнатъев, Н. П. Обеспечение точности при проектировании приводов и механизмов: справочно-методическое пособие / Н. П. Игнатъев. – Азов: АзовПечать, 2012. – 110 с.

УДК 543.27.8

ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ, НА ОСНОВЕ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Олиферович Н. М., Анкуда М. А., Карпович Д. С.

Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Измерители концентрации, принцип действия которых основан на взаимодействии оксидов металлов с анализируемыми газами, весьма перспективны для анализа количественного и качественного состава газов в различных отраслях промышленности. В данных газоанализаторах используется свойство избирательной чувствительности некоторых оксидов при различных температурах, что, в свою очередь, позволяет осуществлять комплексный анализ многокомпонентных газовых смесей. Однако необходимо учитывать особенности поведения чувствительного элемента, его электрические свойства, которые могут быть задействованы в качестве исходных данных для проведения анализа газовых смесей [1].

В полупроводниковых газоанализаторах используется эффект изменения электрического сопротивления некоторых полупроводниковых материалов (поверхностей монокристаллов, пленок), возникающего вследствие адсорбции газа. Структурную схему сенсора можно представить на рисунке 1.

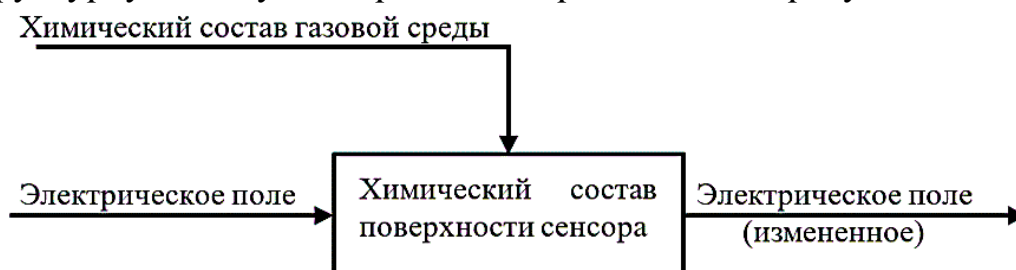
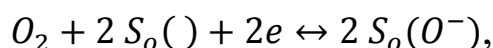


Рисунок 1 – Структурная схема полупроводникового сенсора

В основе работы полупроводниковых сенсоров на оксидных пленках лежит изменение проводимости чувствительного слоя полупроводника, которых наносят на какое-либо основание. Известно, что чувствительность датчика к конкретному газу зависит от материалов, легирующих полупроводник, и от его температуры. По этой причине существующие газоанализаторы полупроводникового типа снабжают системой подогрева для повышения их чувствительности к газовому компоненту.

Основной теорией, объясняющей процессы, происходящие на поверхности полупроводника, является теория мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. Согласно этой теории в воздушной среде на поверхностных центрах полупроводника может адсорбироваться кислород в молекулярной или атомарной форме как акцептор электронов, из рабочей зоны поверхности полупроводника, в результате чего поверхность приобретает отрицательный заряд. Данное явление можно описать выражением:



где: O_2 – молекула кислорода в воздушной среде; $S_o()$ – свободный поверхностный центр адсорбции кислорода; $S_o(O^-)$ – адсорбированный атом кислорода; e – электрон поверхностного слоя.

В приповерхностном слое концентрация свободных носителей заряда уменьшается.

При появлении исследуемого газа на поверхности сенсора будет происходить процесс его окисления с последующим выделением электронов в обедненный поверхностный слой, что приведет к повышению его проводимости.

Адсорбционные свойства исследуемых газов зависят от температуры поверхностного слоя датчика, которая будет уникальной для различных соединений. В таблице приведен перечень материалов, используемых для анализа различных компонентов детектируемого газа [2].

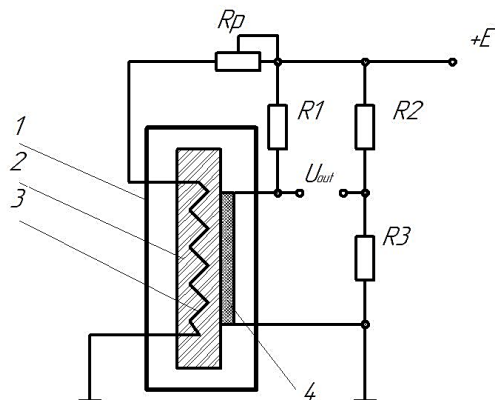
Таблица - Твердотельные датчики газа для обнаружения газов окружающей среды

Детектируемый газ	Тип датчика	Материал сенсора
SO_2	Полупроводниковый	Ceramic SnO_2 , CeO_2 , легированный $-WO_3$
	Твердый электролит	Сульфаты щелочных металлов, $Ag-\beta''$ – оксид алюминия, $Na-\beta$ – оксид алюминия, NASICON ($Na_2Zr_2Si_3PO_{12}$), MgO – стабилизированный, твердые электролиты на основе сульфатов
CO_2	Полупроводниковый	Легированный $-SnO_2$ и In_2O_3
	Твердый электролит	K_2CO_3 , NASICON/ Na_2CO_3 , NASICON/ $Na_2CO_3-BaCO_3$, NASICON/ $Li_2CO_3-CaCO_3$, NASICON/ $NdCoO_3$
	Емкостной	$BaTiO_3-PbO$, $NiO-BaTiO_3$, $PbO-BaTiO_3$, $Y_2O_3-BaTiO_3$, $CuO-BaTiO_3$, как $CeO-BaCO_3/CuO$
CO	Полупроводниковый	Легированный $-In_2O_3$, SnO_2 , и ZnO
NO_2	Полупроводниковый	Легированный (Pd , Au , Cd)- SnO_2 , In_2O_3 , легированный (Pd , Pt , Au)- WO_3 , TiO_2-WO_3 , SiO_2-WO_3 , $Sn-W-O$ system, $Al_2O_3-V_2O_5$, $NiO-CuO$
	Твердый электролит	$Ba(NO_3)_2$, $Na-\beta/\beta''$ - оксид алюминия/ $NaNO_3$, $Na-\beta/\beta''$ - оксид алюминия/ $Ba(NO_3)_2$, NASICON/ $NaNO_2+Li_2CO_3$, $Y_2O_3-ZrO_2/CdCr_2O_4$, NASICON/ оксид пирохлора
	Емкостной	$Ba(NO_3)_2$, $Na-\beta/\beta''$ - оксид алюминия / $NaNO_3$, $Na-\beta/\beta''$ – оксид алюминия/ $Ba(NO_3)_2$, NASICON/ $NaNO_2+Li_2CO_3$, $Y_2O_3-ZrO_2/CdCr_2O_4$, NASICON/ оксид пирохлора
NO	Полупроводниковый	$In_2O_3-SnO_2$, WO_3 , $Bi_2O_3-WO_3$, легированный (Pd , Pt , Au)- WO_3
	Твердый электролит	$Y_2O_3-ZrO_2/CdCr_2O_4$, NASICON/ $NaNO_2$
	Емкостной	$SrSnO_3-WO_3$
O_3	Полупроводниковый	$SiO_2-CeO_2-In_2O_3$, $Fe_2O_3-In_2O_3$, WO_3 , $ZnIn_2O_5-MgIn_2O_4$

Для обнаружения газов наиболее приемлемым из представленных в таблице на сегодняшний день является диоксид олова SnO_2 с различными легирующими добавками. Подбором легирующих добавок и рабочей температуры можно достичь повышения чувствительности сенсора.

Таким образом, полупроводниковый газоанализатор должен содержать поверхностный слой с определенным легированным составом и систему подогрева датчика. В общем случае полупроводниковый газоанализатор можно представить в виде следующей схемы (рисунок 2).

От источника напряжения $+E$ происходит нагрев с помощью спирали 3 керамической подложки 2 и полупроводника 4. Температуру нагрева датчика можно устанавливать с помощью регулируемого резистора R_p . По краям легированного полупроводника, проводимость которого будет меняться под действием исследуемого продуваемого газа, размещают два электрода. В результате между электродами возникает некоторое параметрическое сопротивление R_∂ . Сопротивление R_∂ вместе с R_1, R_2, R_3 образует мостовую схему, которое позволяет переводить изменение сопротивления датчика в электрический сигнал U_{out} .



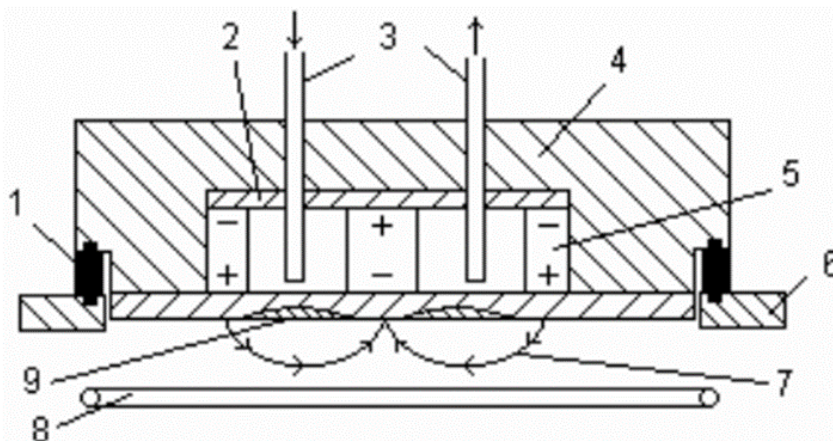
1 – корпус чувствительного элемента; 2 – подложка керамическая;
3 – спираль нагрева; 4 – полупроводник

Рисунок 2 – Электрическая схема газоанализатора полупроводникового типа

Для обнаружения различных газов можно создавать матрицу полупроводниковых ячеек с различным легированием под различные газовые компоненты. Поскольку на чувствительность полупроводниковых поверхностей могут одновременно влиять различные газовые компоненты, то имеет смысл создавать некоторую систему управления выбора ячеек сенсорной матрицы, переключение между элементами которой позволит создавать датчики многокомпонентных газовых смесей.

Для нанесения слоя полупроводника предполагается использовать метод магнетронного распыления [3]. В основе метода лежит катодное распыление мишени в плазме магнетронного разряда. Мишень является источником распыляемого материала и выполняет функцию катода. В результате столкновения электронов с молекулами инертного газа (аргона) в камере над поверхностью катода образуется плазма. Положительные ионы аргона, образующиеся в плазме, ускоряются в направлении катода-мишени и бомбардируют его поверхность, выбивая из неё частицы материала. Выбитые с поверхности мишени частицы осаждаются

на поверхности подложки. Схема установки магнетронного распыления представлена на рисунке 3.



1 – изолятор; 2 – магнитопровод; 3 – система водоохлаждения; 4 – корпус катодного узла; 5 – постоянный магнит; 6 – стенка вакуумной камеры; 7 – силовые линии магнитного поля; 8 – кольцевой водоохлаждаемый анод; 9 – зона эрозии распыляемого катода

Рисунок 3 – Установка магнетронного распыления

К преимуществам магнетронного распыления относят:

- высокая скорость распыления при низких рабочих напряжениях (600-800 В) и при небольших давлениях рабочего газа ($5 \cdot 10^{-1}$ -10 Па);
- отсутствие перегрева подложки;
- малая степень загрязнения пленок;
- возможность получения равномерных по толщине пленок на большей площади подложек.

Таким образом, при создании газоанализаторов первой задачей будет создание полупроводниковых ячеек с различным легированным составом под конкретные газовые составляющие. Второй задачей видится создание системы управления, которая обеспечит необходимый температурный режим для каждой газовой составляющей и переключение между ячейками матрицы полупроводникового сенсора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Михайлов, В. Б. Прогнозирование надежности пленочных газовых сенсоров при работе с превышением ПДК / В. Б. Михайлов [и др.] // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Минск : БГТУ, 2018. – С. 19–21.
2. Sensors for chemical and biological applications / ed. by M.K.Ram, V.R.Bhethanabotla. - Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis, 2010. - xi, 378 p.: ill. – Bibliogr. at the end of the chapters. – Ind.: p.371–378. – ISBN 978-0-8493-3366-8.
3. McAleer J.F., Moseley P.T. Tin dioxide gas sensors. // J. Chem. Soc. Faraday Trans. – 1987. – V. 83. – P.1323 – 1346.