

УДК 621.317.39.084.2

ДВУХСЕНСОРНАЯ ГАЗОВАЯ МИКРОСИСТЕМА НА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Таратын И.А.¹, Реутская О.Г.¹, Горох Г.Г.², Федосенко В.С.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Представлены результаты исследований электрофизических свойств и функциональных характеристик микросенсоров с металлоксидными газочувствительными слоями, изготовленных на подложках из нанопористого анодного оксида алюминия и тонких мембранах. Представленные результаты показали реальную перспективность изготовления маломощных тонкопленочных микросистем на нанопористых профилированных подложках для газоанализа, состоящих из нескольких микро-мощных сенсоров, которые обеспечивают регистрацию низких концентраций нескольких горючих или токсичных газов.

Ключевые слова: сенсорная микросистема, нанопористая подложка, вольтамперные характеристики.

DUAL-SENSORY GAS MICROSYSTEM ON NANOSTRUCTURED PLATFORM FOR ENVIRONMENTAL MONITORING

Taratyn I.A.¹, Gorokh G.G.², Reutskaya O.G.¹, Fedosenko V.S.²

¹Belarusian National Technical University

²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The results of the electrical properties and functional characteristics studies of microsensors with metal oxide gas-sensitive layers manufactured on nanoporous alumina substrates and thin membranes are presented. The obtained results showed the real promise of low-power thin-film microsystems manufacturing on nano-porous profiled substrates for gas analysis, consisting of several micro-power sensors that provide registration of low concentrations of several flammable or toxic gases.

Key words: sensor microsystem, nanoporous substrate, current-voltage characteristics.

Адрес для переписки: Горох Г.Г., ул. П.Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
e-mail: gorokh@bsuir.by

Современные промышленно выпускаемые и разрабатываемые сенсорные устройства, используемые для контроля и мониторинга технологических газовых сред и сложных составов в ограниченном пространстве, имеют ряд конструктивных и технологических недостатков. Среди нерешенных проблем в них – повышение чувствительности газовых слоев без ущерба к селективности газовых составляющих в смеси газа; повышение термомеханических свойств применяемых слоев, позволяющие работать устройствам при повышенных температурах до 500–600 °С, снижение энергопотребления до микроватного диапазона при непрерывном режиме работы [1].

В настоящей работе предлагается к рассмотрению два варианта двухсенсорной газовой микросистемы: на наноструктурированной платформе из анодного оксида алюминия (АОА) либо мембране с пленкой АОА. Конструктивно первый вариант микросистемы представляет собой кристалл из анодного оксида алюминия толщиной 55–60 мкм с порами диаметром 50 нм. На планарной стороне кристалла сформированы по две пары платиновых информационных электродов, между которыми нанесены чувствительные слои, представляющие собой наноструктурированные металлооксидные пленки толщиной 150–400 нм.

На обратной стороне кристаллов сформированы нагревательные элементы в форме меандра. На рисунке 1 представлены внешний вид информационных электродов и нагревательных элементов данной конструкции. Принцип работы двухсенсорной газовой микросистемы основан на изменении электрофизических характеристик, нагретых металлооксидных чувствительных слоев при их взаимодействии с газовой средой. На одном чипе могут располагаться как сенсоры, газочувствительные слои которых работают параллельно и определяют один газ, так и сенсоры с газочувствительными слоями, работающими последовательно и определяющими газы разного состава. Сенсоры разработанной микросистемы калибруются на определенные концентрации следующих газов или их смесей: этанол, СО, Н₂, С₃Н₈, NO₂, NH₃. Рабочая температура газочувствительного слоя (In₂O₃+Al₂O₃+Pt) составляет от 200 до 450 °С, потребляемая мощность – 60 мВт.

Второй вариант двухсенсорной газовой микросистемы представляет собой тонкую мембрану подложке из анодного оксида алюминия, изготовленной по методике, подробно описанной в работе [2]. На лицевой стороне мембраны расположены платиновый нагреватель, в виде распределенного меандра по трем сторонам

мембраны, а в центре мембраны – встречно-штыревой конденсатор с тонким газочувствительным слоем. Конструкция второго варианта микросистемы представлена на рисунке 2.

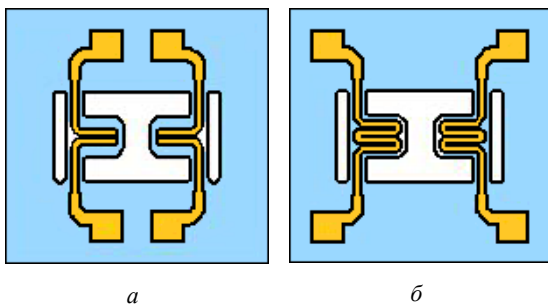


Рисунок 1 – Конструкция микросистемы на нанопористой подложке: *a* – информационные электроды; *б* – нагревательные элементы

Особенностью данной микросистемы является то, что в конструкции кристалла использована нанопористая основа, изготовленная по разработанной технологии микро-машининга (micro-machining) АОА, не имеющая аналогов в мире. Предложенный технологический подход позволил решить сразу несколько технологических и конструктивных проблем тонкопленочных хеморезистивных сенсоров, и одновременно повысить их функциональные характеристики.

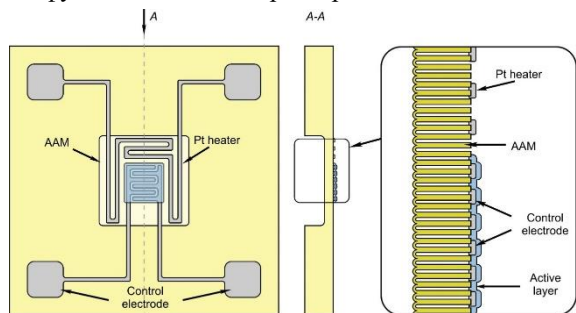


Рисунок 2 – Первый вариант топологии нагревателя сенсора на двухслойной мембране

Газочувствительные слои, состав которых определяется типом анализируемого газа, нанесенные на нанопористую поверхность АОО имеют в десятки раз большую эффективную поверхность, нежели на гладкой кремниевой или стеклянной поверхности, что позволило значительно повысить чувствительность сенсоров одновременно при уменьшении их геометрических размеров. Развитая пористая поверхность значительно улучшила тепломеханические характеристики микросистемы: повысилась адгезия платиновых электродов, уменьшилась теплопроводность несущей основы, тепло, выделяемое нагревателем, локализуется непосредственно в области чувствительного слоя, что в совокупно-

сти привело к значительному уменьшению тепловых потерь, повышению скорости реакции и регенерации датчика, увеличение толщины нагревателя и как следствие повышение надежности работы сенсора в целом. Вместе с тем структурированная поверхность подложки с одинаковыми порами позволила также наноструктурировать нанесенные на нее активные газочувствительные слои, в результате чего пленка представляет собой однородную систему равноразмерных зерен определенного состава, что позволило повысить селективность сенсоров. Микро-машининг подложки, создание на подложке толщиной 50–60 мкм мембран размером 100×100 мкм с толщиной 10–20 мкм, позволило локализовать тепло в ограниченной области мембраны, значительно снизить энергопотребление до десятков микроватт, повысить быстродействие до десятков секунд и скорость регенерации до единиц минут. Так, например, сенсоры, чувствительные к NO₂, характеризуются уровнем энергопотребления не выше 15 мВт, диапазоном измерения концентраций от 10⁻⁶ до 100 %, рабочей температурой до 350 °С; а предел чувствительности по CO ≥ 10 ppm при потребляемой мощности ≤ 10 мВт. Такие параметры практически не достижимы для большинства выпускаемых сенсоров в РФ и за рубежом.

Использование нанопористого АОО в качестве пассивной диэлектрической подложки или мембраны позволяет обеспечить: быстродействие, малое энергопотребление, чувствительность к предельным концентрациям токсичных газов; минимизированные тепловые потери за счет конструкции сенсоров; согласованность термомеханических свойств используемых материалов; одновременное формирование на одном кристалле микросистемы нескольких сенсоров различных типов при сохранении размеров однокристалльной структуры, что позволяет проводить распознавание состава многокомпонентных газовых сред.

Микросистема может использоваться в противопожарных извещателях; в системах анализа многокомпонентных газовых сред, мониторинга окружающей среды, контроля рабочей среды промышленных предприятий.

Литература

1. Korotcenkov, G. Current Trends in Nanomaterials for Metal Oxide-Based Conductometric Gas Sensors: Advantages and Limitations. Part 1: 1D and 2D Nanostructures / G. Korotcenkov // *Nanomaterials*. – 2020. – № 10. – P. 1392.
2. A Micropowered Chemoresistive Sensor Based on a Thin Alumina Nanoporous Membrane and SnxBiKMoYz Nanocomposite. / G. Gorokh [et al.] // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22. – P. 3640–3657.