

К. т. н. А. А. АЛТУХОВ, д. ф.-м. н. А. Ю. МИТЯГИН,
А. В. ШУСТРОВ

Россия, г. Москва, ООО "УралАлмазИнвест";
г. Фрязино, Институт радиотехники и электроники
E-mail: info@ural-almaz.ru, alexandr-mityagin@yandex.ru

Дата поступления в редакцию
13.03 2007 г.

Оппонент к. т. н. Ю. Н. МАКСИМЕНКО
(НИИ "Укрналит", г. Киев)

«ЭЛЕКТРОННЫЙ НОС» НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ РЕЗИСТИВНЫХ СЕНСОРОВ

Химический сенсор, основанный на матричной полисенсорной структуре, содержит 16 газовых моносенсоров, компьютерную программу контроля и математическую программу обработки результатов.

В последние годы на смену традиционным методам анализа многокомпонентных газовых смесей, таким как хромато-масс-спектрометрия и лазерная спектроскопия в видимой и ИК-области спектра, приходят новые. Все большее распространение получают приборы типа «электронный нос». Это абсолютно новый тип электронного анализатора паров различных веществ. В основе его работы лежит мультисенсорная система, представляющая собой матрицу датчиков — сенсоров, выполненных по микроэлектронной технологии. По сути прибор имитирует работу органа обоняния живых существ. Чувствительность анализаторов запаха такого прибора значительно превосходит чувствительность газоанализаторов, основанных на традиционных технологиях, и достигает чувствительности человеческого носа.

Прибор может применяться в следующих областях:

- обнаружение следов токсичных, ядовитых и опасных реагентов;
- контроль состава воздушной среды помещений, качества газоздушных выбросов промышленных предприятий;
- поиск пропавших людей в завалах и труднодоступных объектах (например развалы домов после землетрясений и техногенных катастроф);
- контроль утечек природного газа и других опасных жидких и газообразных веществ;
- обнаружение вредных примесей или загрязнителей в воздухе, грунтовых водах или водоемах;
- обнаружение взрывчатых веществ и наркотиков.

В целом «электронные носы» в перспективе смогут частично заменить сложное лабораторное оборудование и существенно упростить и ускорить процесс проведения анализа газовых смесей.

Экспериментальные результаты

Принцип действия прибора типа «электронный нос» сводится к следующему. В приборе использу-

ется полупроводниковый микрочип площадью в несколько квадратных миллиметров. Сенсоры, размещенные на таком чипе, состоят из множества чувствительных элементов (матрица элементарных сенсоров), служащих для захвата отдельных молекул анализируемой газовой смеси. Данные с сенсоров передаются на обработку в компьютер, который и определяет химический состав смеси.

Технически «электронный нос» представляет собой комплексную систему, в которую входят несколько базовых функциональных узлов, работающих в режиме периодического восприятия запахов:

- система пробоотбора и пробоподготовки;
- матрица сенсоров с заданными свойствами;
- блок процессорной обработки сигналов сенсоров.

Анализируемая проба засасывается воздушным насосом через входной патрубок в термостатируемое кюветное отделение с установленной в нем матрицей сенсоров («моносенсоров»), причем последовательный опрос показаний каждого сенсора дает в результате сложную многомерную картину («образ», гистограмму) величин их откликов (показаний), которые по сложному алгоритму обрабатываются микропроцессором.

Созданные в компании «УралАлмазИнвест» микроэлектронные газочувствительные сенсоры (ГЧС) [1] можно объединять в сложные мультисенсорные системы средствами интегральной технологии микроэлектроники. Действующие образцы многоэлементных интегральных ГЧС с высокой надежностью и достоверностью определяют наличие в воздухе малых концентраций искомых примесей и преобразуют их в электрический сигнал тока/напряжения. Сенсоры обладают высоким быстродействием (менее 2 мс) и предназначены для использования в любых системах

Параметры микроэлектронных газочувствительных сенсоров

Предельная чувствительность, г/см ³	10 ⁻¹¹ —10 ⁻¹²
Быстродействие, мс	2
Напряжение питания, В	до 2
Потребляемая мощность, Вт	до 0,04
Размеры, не более, мм	3×3
Масса, г	менее 2,0

контроля летучих компонентов и газовой среды. В таблице приведены основные параметры микроэлектронных газочувствительных сенсоров.

На рис. 1 показана схема многоэлементного интегрального ГЧС. Здесь в 64-выводной металлокерамический корпус матрицы устанавливается кристалл

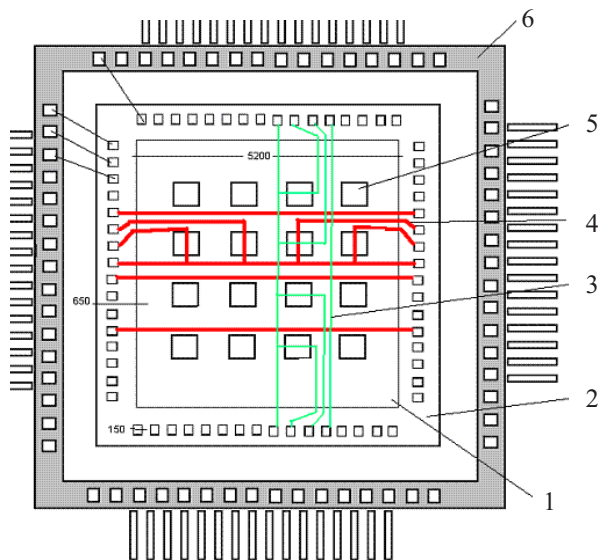


Рис. 1. Схема многоэлементного интегрального газочувствительного сенсора:

1 — мембрана; 2 — кристалл матрицы; 3 — разводка чувствительных слоев для отдельных сенсоров матрицы; 4 — разводка слоев микронагревателей; 5 — сенсоры матрицы; 6 — корпус

с максимальными размерами 7,5×7,5 мм. Размеры мембраны 16-элементной матрицы 5,2×5,2 мм, максимальные размеры микронагревателя для каждого сенсора 250×250 мкм.

На базе таких интегральных сенсоров созданы действующие макеты детектирующих устройств [2, 3] со следующими основными параметрами:

- достоверность обнаружения целевого вещества (ЦВ) — 0,96 при концентрации паров ЦВ $1,10^{-11}$ г/см³;
- вероятность ложных тревог — 0,03;
- достоверность обнаружения ЦВ при наличии мешающего вещества (МВ) (бензина) — 0,92 при концентрации паров бензина $0,252 \cdot 10^{-6}$ г/л (1,5 ПДК по бензину);
- среднее время цикла измерений — 5...85 с.

Функциональная схема детектирующего устройства представлена на рис. 2—4.

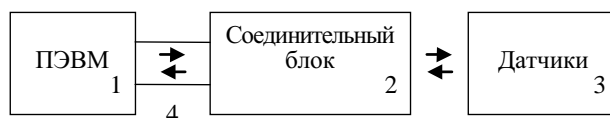


Рис. 2. Функциональная схема детектирующего устройства:

1 — ПЭВМ с платой NI PCI-6221; 2 — соединительный блок СВ-68LP с электронно-коммутационной платой; 3 — датчики в корпусе (2 шт.); 4 — соединительный кабель SHC 68-68-ERM

Для реализации алгоритмов управления и обработки сигналов ГЧС были созданы модели электронной и логической схемы управления ГЧС в составе

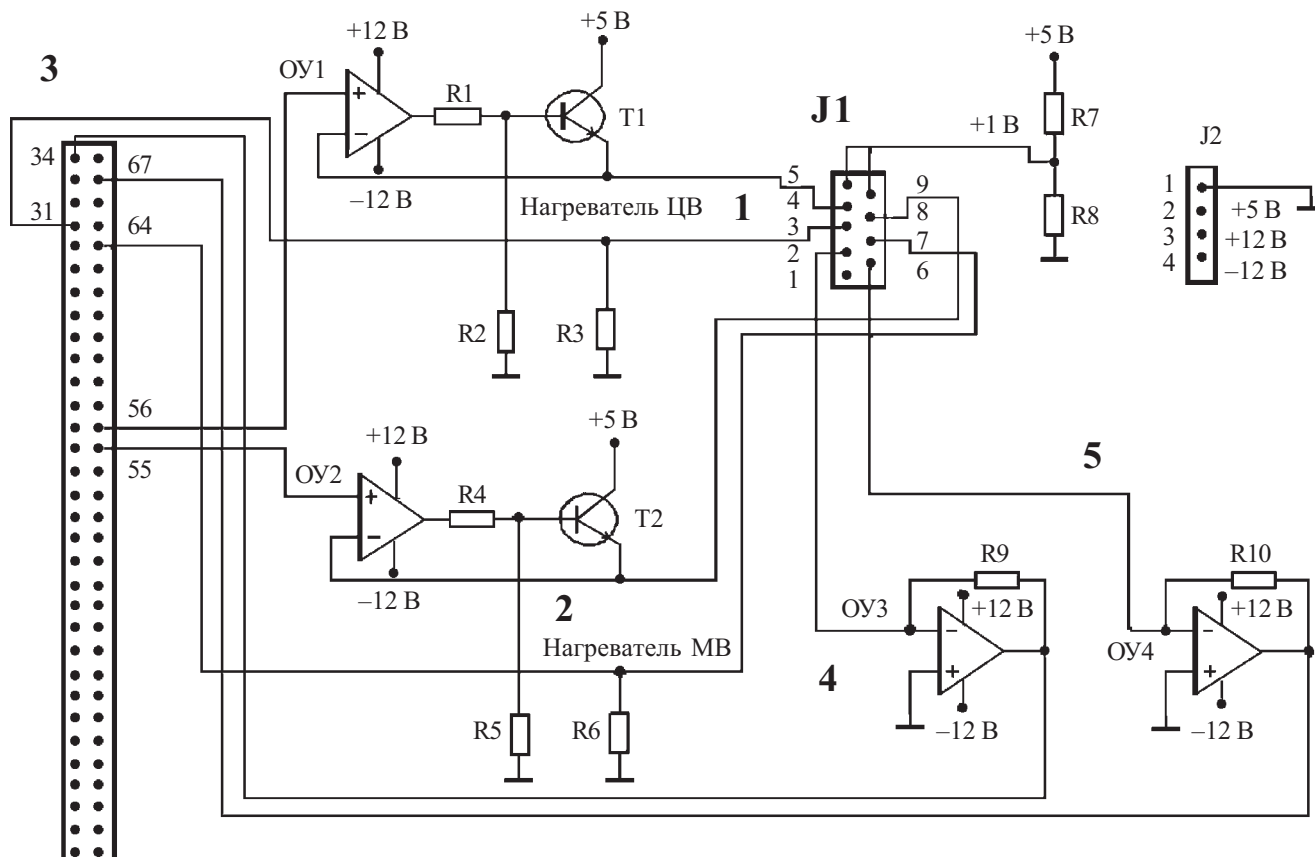


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема соединительного блока и электронно-коммутационной платы: 1 — нагреватель анализируемого ЦВ; 2 — нагреватель МВ; 3 — разъем интерфейсного блока CL68 LP; 4 — выход сигнала с чувствительного слоя (ЧС) ЦВ; 5 — выход сигнала с ЧС МВ

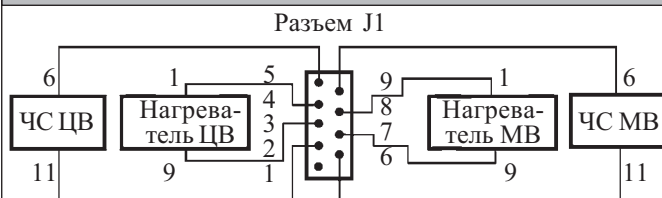


Рис. 4. Электрическая схема управления сенсорами на плате через разъем J1, см. рис. 3

макета детектирующего устройства. Два источника напряжения выполнены по классической схеме источника напряжения на одном операционном усилителе и транзисторе.

Работа устройства заключается в следующем. С управляющей электронно-коммутационной платы на нагреватели матрицы подаются управляющие импульсы определенной формы (обычно синусоидальной или трапецевидной), и производится последовательный опрос показаний каждого сенсора. В результате это дает гистограмму величин откликов (показаний) каждого сенсора, которые по сложному алгоритму обрабатываются микропроцессором, в данном случае — компьютером. Отклики сенсоров неравнозначны, и иногда множество сенсоров реагирует на одно и то же вещество, т. е. происходит наложение (перекрывание) сигналов. Вследствие этого необходим математический аппарат, обеспечивающий распознавание вещества.

Основной задачей, решаемой “электронным носом”, является идентификация запаха образца и, по возможности, установление концентрации пахучего вещества, что связано с обработкой данных и идентификацией многомерной картины сенсорных сигналов (“образа запаха”). Как правило, задача решается в четыре последовательных стадии: предварительной обработки данных, выделения отличительных признаков, классификации и принятия решения.

На стадии предварительной обработки устраняется дрейф сенсоров, производится сжатие сенсорных данных с учетом переходных процессов и минимизируются относительные ошибки. При этом применяются традиционные приемы обработки сигналов, используемые, например, в хроматографии: учет дрейфа нулевой линии, нормализация сенсорных откликов для полной линейки сенсоров и др.

Выделение отличительных признаков преследует две цели: снижение размерности пространства измерений и извлечение информации, необходимой для распознавания обонятельного образа. Например, если матрица содержит 16 элементов, то пространство измерений характеризуется 16 компонентами, что представляет сложность как на момент создания достаточной базы данных, так и при дальнейшей статистической обработке результатов. В силу того, что сенсоры характеризуются перекрестной чувствительностью, в большинстве практических случаев такое их количество является заведомо избыточным. Поэтому оправданным является снижение размерности пространства измерений за счет выделения наиболее информативных сенсорных элементов. Эти операции осуществляются с использованием математического аппарата принципиального компонентного анализа

(ПКА) или линейного дискриминационного анализа (ЛДА). ПКА-метод обеспечивает нахождение направления максимальной дискриминации картин сенсорных откликов и наиболее часто используется в линейном приближении. Однако для решения классификационных задач ПКА-метод не является оптимальным. Чаще используется ЛДА-метод, т. к. он позволяет находить направление, по которому достигаются наибольшие различия между образцами с различными запахами, и при этом минимизируются различия между образцами с одинаковыми запахами.

В силу того, что при функционировании “электронного носа” вероятны достаточно большие отклонения от линейности, для получения корректной количественной информации требуются методы, способные обрабатывать данные без априорного знания функциональных зависимостей между входными сигналами и выходными параметрами, т. е. методы нелинейные и непараметрические. Рядом исследовательских групп предложены нелинейные преобразования, такие как нелинейные карты Саммона и самоорганизующиеся карты Кохонена.

Карты Саммона обеспечивают преобразование данных в 2- или 3-мерное пространство, в котором сохраняется расстояние между каждой парой образцов в первоначальном n -мерном пространстве сенсоров. Карты Кохонена преобразуют n -мерное пространство сенсоров в 2-координатное пространство обрабатываемых элементов, называемых нейронами.

При построении математической модели поведения устройства «электронный нос» использовались два из вышеперечисленных методов обработки исходных данных — ПКА-метод и карты Кохонена. В настоящее время проводятся эксперименты по набору статистического материала для апробации математической модели обработки данных, а также для проверки работоспособности отдельных узлов устройства и устройства в целом.

Создан действующий макет устройства «электронный нос», основанный на матрице элементарных полупроводниковых сенсоров резистивного типа. Для реализации алгоритмов управления и обработки сигналов от моносенсоров были созданы модели электронной и логической схемы управления и разработана математическая модель поведения устройства.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Алтухов А. А., Житковский В. Д., Митягин А. Ю., Шустров А. В. Полиструктуры полупроводниковых химических сенсоров с чувствительными слоями резистивного типа // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания.— 2005.— № 1–2.— С. 72.
2. Алтухов А. А., Митягин А. Ю., Шустров А. В. Портативные детекторы паров опасных веществ на основе микроэлектронных полисенсорных полупроводниковых матриц // Инженерная физика.— 2005.— № 3.— С. 28–32.
3. Алтухов А. А., Митягин А. Ю., Шустров А. В. Эффективные анализаторы опасных и вредных веществ на основе полисенсорных полупроводниковых матриц // Наука и технологии в промышленности.— 2005.— № 3.— С. 26–30.