

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

Успехи развития микроэлектронной элементной базы позволяют надеяться, что в будущем появятся компьютеры и другие средства вычислительной техники, которые, наряду с анализаторами и синтезаторами речи, будут содержать «электронный нос», «электронный глаз», «электронный язык» и т.п. На основе анализа отечественных и зарубежных публикаций рассматриваются основные направления развития этих устройств.

© В.А. Романов, 2002

УДК 681.3(031)

В.А. РОМАНОВ

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА – ОСНОВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Достижения в области микроэлектроники позволили ученым и специалистам поставлять на рынок информационных технологий новые изделия для распознавания запахов сложных веществ. Эти устройства известны под общим названием «электронный нос» и предназначены для контроля пищевых продуктов (вина, сыров, мяса, рыбы и т.п.), духов, кроме того, «электронный нос» может быть использован в системах экологического мониторинга, системах безопасности, в военной промышленности и т.п. Так, например, испанские ученые из университета города Вальядолид разработали «электронный нос», способный оценивать букет красных вин [1], «электронный нос», который способен находить бактерии туберкулеза в воздухе, разрабатывают в рамках совместного проекта специалисты России, США и Германии [2]. Предлагается, что такой прибор будут устанавливать в залах аэропортов, вокзалов и других местах массового скопления людей.

До последнего времени для анализа состава пахучих веществ (одорантов) использовались хромографы и масс-спектрометры. Эти приборы весьма полезны при количественном анализе одорантов, однако они имеют высокую стоимость и, как правило, не могут работать в реальном масштабе времени. Поэтому в настоящее время возникла необходимость в создании относительно недорогих устройств, которые могут идентифицировать различные запахи. В их составе три основных узла: узел пробоотбора, матрица элек-

тронных сенсоров и узел обработки и распознавания. Основным узлом «электронного носа» является матрица сенсоров, причем каждый сенсор такой матрицы обладает чувствительностью к какому-либо одному запаху. Как показано в табл.1, электронные сенсоры можно разделить на следующие группы: сенсоры на основе измерения проводимости металлооксидных или полимерных пленок, пьезоэлектрические сенсоры, полупроводниковые и оптические сенсоры на основе спектрофотометрического метода [3].

ТАБЛИЦА 1. Сенсоры для «электронного носа»

Тип сенсора	Тип информативного сигнала	Технология изготовления	Чувствительность	Преимущества	Недостатки
Пленочный металлооксидный	Проводимость	Полупроводниковая	5-500 ppm	Недорогой	Необходим подогрев
Пленочный полимерный	Проводимость	Полупроводниковая, пленочная	0.1-100 ppm	Работает при комнатной температуре	Чувствительный к влажности одоранта
Пьезоэлектрические на основе кварцевых микровесов	Частота	Пленочная, MEMS	1.0 нг	Высокая чувствительность	Сложный в изготовлении и сопряжении с интерфейсом
Пьезоэлектрические с использованием ПАВ	Частота	Полупроводниковая	1 пг	Высокая чувствительность	Сложный в сопряжении с интерфейсом
Полупроводниковые MOSFET	Ток	Полупроводниковая	1 ppm	Технологически совместим со средствами обработки	Сложный в изготовлении контактных окон
Оптический	Сдвиг спектра флуоресцирующего сигнала	MEMS, пленочная	1 ppb	Устойчивый к электрическим помехам	Малое время жизни флуоресцентного слоя

Активным слоем сенсора на основе изменения проводимости является металлооксидная или полимерная пленка. Электроды могут быть выполнены из платины, алюминия или золота. Подложка изготовлена из кремния, стекла или пластика. Нагреватель используется в случае металлооксидного активного слоя. Сопротивление активного слоя изменяется под воздействием одоранта. Величи-

на изменения проводимости пропорциональна концентрации одоранта и может быть измерена с помощью мостовой схемы. Температура активного слоя находится в пределах от 200 до 400 °С. Чувствительность сенсора может составлять от 5 до 500 ppm. Сенсоры с активным слоем ориентированы прежде всего на измерение концентрации аммиака и окиси углерода.

Временной дрейф порога таких сенсоров достаточно велик и его необходимо компенсировать с помощью алгоритма обработки данных. Сенсор подвержен влиянию летучих веществ, содержащих пары серы, которые вызывают необратимые процессы в активном слое. Однако, благодаря невысокой стоимости и достаточно высоким техническим характеристикам, эти сенсоры получили широкое распространение.

Если в качестве активного элемента используются полимерные пленки, то нагреватель для них не нужен. Измерение проводимости под воздействием одоранта происходит за счет изменения токов смещения при комнатной температуре. Чувствительность таких сенсоров может достигать 0.1 ppm, однако, в промышленных образцах, как правило, не превышает 10-100 ppm. Несмотря на высокую чувствительность, наличие временного дрейфа, а также зависимость показаний от влажности одоранта ограничивают применение активных сенсоров с полимерными пленками. Как уже было отмечено, сенсоры на основе металлооксидных пленок с подогревом широко выпускаются западными фирмами. Так, например, фирма UST Umweltsensor Теснік GmbH (Германия) производит как сенсоры для идентификации одного одоранта, так и мультисенсоры, которые могут идентифицировать одновременно до трех одорантов: аммиак, пары спирта, метан. Интеллектуальный интерфейс для системы распознавания запахов на основе таких мультисенсоров разработан в Институте кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины [4].

Семейство пьезоэлектрических устройств представлено сенсорами на основе кварцевых микровесов (quartz crystal microbalance - QCM) и сенсорами на основе поверхностных акустических волн (ПАВ). Сенсор на основе кварцевых микровесов состоит из резонирующего диска диаметром несколько миллиметров и металлических электродов. Диск имеет полимерное покрытие, которое может поглощать молекулы одоранта, что, в свою очередь, приводит к увеличению массы диска и, как следствие, уменьшению резонансной частоты. Уменьшение частоты обратно пропорционально массе поглощенного пахучего вещества. Резонансная частота сенсора находится в пределах от 10 до 30 МГц. Сенсоры на основе такого принципа отличаются сверхвысокой чувствительностью, которая достигает одного пикограмма.

Сенсоры на основе ПАВ работают следующим образом. Сигнал переменного тока прикладывается к входному преобразователю и формирует акустическую волну вдоль пьезоэлектрической подложки. Когда волна достигает выходного преобразователя, в нем восстанавливается сигнал переменного тока с некоторым сдвигом по фазе по отношению ко входному. Фазовый сдвиг зависит от массы мембраны, представляющей собой полимерный слой, который поглощает молекулы одоранта. Диапазон частот, на которых работает сенсор на основе

ПАВ, составляет сотни мегагерц. Несмотря на то, что рабочая частота сенсоров на основе ПАВ на порядок выше рабочей частоты сенсоров на основе кварцевых микровесов, их чувствительность примерно одинакова, так как сенсоры на основе ПАВ имеют худшее отношение сигнал/шум.

Семейство пьезоэлектрических сенсоров выполнено на основе MEMS-технологии, поэтому их стоимость выше стоимости пленочных сенсоров с подогревом.

Полупроводниковые или MOSFET-сенсоры основаны на химической реакции, в которую вступает каталитическое металлическое покрытие затвора с одорантом. Затвор сенсора покрыт благородным пористым металлом (платиной, палладием или иридием). Заряд, приложенный к затвору, открывает канал, через который начинает протекать ток от истока к стоку. Под воздействием одоранта величина этого тока изменяется вследствие возникновения каталитической реакции между металлическим покрытием затвора и пахучим веществом. Изменение тока в канале под воздействием одоранта пропорционально его концентрации. Достоинством полупроводниковых сенсоров является то, что они изготавливаются по групповой технологии и это гарантирует идентичность их параметров. Недостаток таких сенсоров заключается в том, что в результате каталитической реакции происходит разрушение металлического слоя сенсора. Для предотвращения разрушения этого слоя необходимо использовать специальное защитное покрытие тех участков сенсора, которые не должны контактировать с одорантом.

Оптические сенсоры представляют собой оптоволоконный цилиндр, покрытый тонким химически активным материалом, который содержит матрицу флуоресцентных красителей. Импульс света от внешнего источника пропускается через цилиндр и окрашивает активный материал, с которым взаимодействует одорант. Под воздействием одорантов спектр флуоресцентного излучения изменяется. Матрицы оптических сенсоров с различными кристаллами используются для построения «электронного носа».

Основное применение оптические сенсоры находят в биологических исследованиях для иммунодиагностики. Они обеспечивают высокую чувствительность при диагностике широкого класса органических молекул. Недостатком таких сенсоров является небольшой срок службы из-за эффекта фотообесцвечивания.

На основе рассмотренных сенсоров зарубежной промышленностью выпускаются сложные системы для распознавания запахов. Перечень некоторых из них приведены в табл. 2.

«Электронный нос» в настоящее время находит широкое применение в системах контроля качества пищевых продуктов и лекарств, системах экологического мониторинга, системах контроля качества воздуха в промышленных и жилых помещениях, в системах безопасности и военных системах. С помощью «электронного носа» можно контролировать качество кофе, свежесть мясных и рыбных продуктов.

ТАБЛИЦА 2. Параметры систем типа “электронный нос”

Фирма	Тип сенсоров	Число сенсоров	Стоимость-долл.США	Адрес в сети Интернет
Airsense Analysis GmbH, Германия	Металлооксидный пленочный	10	20 000 - 43 000	www.airsense.com
Alpha MOS-Multi Organoleptic, Франция	Пленочные, ПАВ, микровесы	6-24	20 000 - 100 000	www.ALPHAmos.com
AromaScan PLC, Великобритания	Полимерные пленочные	32	20 000 - 75 000	www.aromascan.com
Bloodhound Sensors Ltd., Великобритания	Полимерные пленочные	14	-	www.bloodhound.co.uk/bloodhound
Cyrano Sciences Inc., США	Полимерные пленочные	32	5000	www.cyrano-sciences.com
EEV Ltd. Chemical Sensor Systems, Великобритания	Пленочные, кварцевые весы, ПАВ	8-28	-	www.eev.com
HKR-Sensorsysteme GmbH, Германия	Кварцевые весы	6	-	home.tonline.de/home/hkrsensor
Lennartz Electronic GmbH, Германия	Пленочные, кварцевые весы	16-40	55000	www.lennartz-electronic.de/
Nordic Sensor Technologies AB, Швеция	Пленочные, инфракрасные, MOSFET, кварцевые весы	22	40 000 - 60 000	www.nordic-sensor.com
RST Rostock K ° GmbH, Германия	Пленочные, ПАВ, кварцевые весы	6-10	50000	www.rst-rostock.de

В медицине можно осуществлять контроль выдыхаемого воздуха, пота, мочи и т.п., определяя при этом наличие патогенных микробов и вирусов. В фармацевтической промышленности с помощью «электронного носа» определяется качество исходных материалов, осуществляется мониторинг производственного процесса, контролируются условия хранения лекарственных препаратов. «Электронный нос» может выполнять допинг-контроль, поиск наркотических и взрывчатых веществ, химического и бактериологического оружия и т.п. «Электронный нос», кроме того, может обеспечивать безопасность персонала на вредных производствах химической и биологической промышленности.

Совершенствование микроэлементной элементной базы способствует расширению сферы применения автоматизированных идентификаторов запахов, позволяет снизить стоимость и повысить чувствительность таких устройств.

Интегральная микросхема, включающая в себя матрицу сенсоров, выполненных по MEMS-технологии, и твердотельный узел для обработки сигналов, разработана в Швейцарском федеральном технологическом институте (г.Цюрих) [5]. В составе ИМС сенсоры на основе микровесов и емкостные сенсоры.

Микровесы представляют собой закрепленную одним концом кремниевую пластину.

Пластина покрыта полимерным слоем толщиной не более 10 мкм. Если полимерный слой поглощает молекулы одоранта, то масса его увеличивается и снижается резонансная частота консоли микровесов. Изменение резонансной частоты пропорционально концентрации одоранта. Емкостной сенсор изменяет величину диэлектрической постоянной при поглощении молекул одоранта. Микросхема может одновременно идентифицировать и измерять концентрацию нескольких типов газа: пропанол, октан, толуол и трихлорметан. Кроме сенсоров, в составе ИМС имеется многоканальный АЦП и интерфейсный узел.

Таким образом, развитие и совершенствование микроэлектронной базы привело к созданию нового класса интеллектуальных устройств для распознавания запахов, которые уже в настоящее время заменяют человека в различных сферах его деятельности.

Развитие биоэлектроники, офтальмологии и информационных технологий дает основание надеяться, что вслед за «электронным носом» появится имплантируемый «электронный глаз», который поможет достаточно надежно воспринимать зрительную информацию полностью слепым или страдающим слабым зрением пациентам. По оптимистичным прогнозам ученых биоэлектронный компьютеризированный протез глаза, позволяющий заменить больной орган, появится в 2020 году [6]. В настоящее время создание таких устройств развивается в следующих трех направлениях:

- разработка и создание кристаллов для фиксации и обработки изображений, проецирование этих изображений на миниатюрные плоские дисплеи, которые с помощью специального шлема устанавливаются непосредственно перед глазом слабовидящего пациента. В этом направлении получены существенные результаты, благодаря наличию соответствующей элементной базы [7];

- разработка нейрокристаллов, выполняющих обработку изображения, которую в живом организме выполняет сетчатка [8]. Основные трудности в создании «кремниевой» сетчатки связаны с недостаточным изучением процессов предварительной обработки изображений, происходящих в сетчатке;

- разработка биологического интерфейса, представляющего собой непосредственную связь миниатюрной системы машинного зрения со зрительным центром человеческого мозга [9]. Работы по созданию такого интерфейса находятся в начальной стадии и на первом этапе дадут возможность слепым людям читать печатные тексты, ориентироваться в пространстве, смотреть телевизор.

Таким образом, работы по созданию искусственного глаза на базе достижений микроэлектроники еще не вышли из стадии лабораторных. Однако полученные результаты дают основание надеяться на успешное решение в будущем этой сложнейшей проблемы.

1. "Электронный нос" станет подмастерьем виноделов. Газета "Сегодня", 28 марта, 2001.
2. *От кого* туберкулезом пахнет? Газета "Сегодня", 29 марта, 2001.
3. *Troy H. Nagle, Picardo Gutierrez-Osna, Susan S. Schiffman*. The How and Whe of Electronic Noses. IEEE Spectrum, 1998. - № 9. - P. 22 - 34.
4. *Лукаш С.І.* Интеллектуальный интерфейс для автоматизованої системи розпізнавання запахів // Нові комп'ютерні засоби, обчислювальні машини та мережі: Зб. наук. праць ІК НАН України. – К.: 2001.- Т.1. - С.68.-73.
5. *Henry Baltes, Dirk Lange, Andreas Koll*. The Electronic Nose in Lillipt. IEEE Spectrum, 1998. - № 9. - P. 35 - 38.
6. *Robert Braham*. Toward an Artificial Eye. IEEE Spectrum, 1996. - № 5. - P. 21-29.
7. *Голуб В.С.* Линейные и матричные датчики изображений. Электронные компоненты и систем. 2000. - №4.- С. 4-5.
8. *Christof Koch, Bimal Mathur*. Neuromorphic Vision Chips. IEEE Spectrum, 1996. - № 5. - P. 38-46.
9. *Richard A. Normann, Edwin M. Maynard, K. Shane Gullory, David J. Warren*. Cortical Implants for the Blind. IEEE Spectrum, 1996. - № 5. - P. 54-59.

Получено 01.07.2002