

# МЕДИЦИНСКИЕ МЭМС

## ДОКТОР В КАРМАНЕ

В.Шурыгина

Рынок медицинской техники – один из немногих, выдерживших спад экономики в 2009 году. Эта "выносливость" в основном обусловлена макроэкономическими причинами: стареющее население промышленных стран все больше нуждается в средствах диагностирования и лечения на месте оказания медицинской помощи, а в развивающихся странах стремительно растет потребность в оснащении лечебных учреждений более совершенным оборудованием, желательно широкого применения. Развитию рынка медицинской техники активно способствуют МЭМС-компоненты: они малогабаритны, энергоэффективны, не агрессивны (т.е. не болезненны), для выполнения анализов с их помощью требуется лишь небольшое количество исследуемого вещества (например, крови). Достаточно большое число таких компонентов может быть объединено в одну микросхему, как правило, с помощью групповых процессов кремниевой технологии, что также способствует росту их применения, поскольку кожа человека слабо реагирует на кремний. Сегодня уже созданы медицинские МЭМС, превосходящие по своим характеристикам аналогичные традиционные приборы. Более того, применение МЭМС обеспечило новые возможности медицинской техники.

### БИОМЭМС НА МИРОВЫХ РЫНКАХ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Составной частью ряда МЭМС, используемых в медицине, являются биологические молекулы. Так, биохимический анализатор на основе микрокантилеверных преобразователей может иметь покрытие, содержащее антитела для захвата вирусов в пробе крови. Таким образом, биоМЭМС – это

МЭМС, выполняющие биологические или биомедицинские функции. Вместе с тем, биоМЭМС, используемые для анализа, диагноза, лечения заболевания, доставки лекарственных средств, исследования клеточной структуры, становятся все заметнее на рынке медицинского оборудования, поскольку весьма полно отвечают требованиям современной концепции предоставления

медицинских услуг, особенно пожилому населению. МЭМС не только улучшают медицинскую технику, но и благодаря присущим им достоинствам обеспечивают конкурентоспособность создаваемых приборов. Так, МЭМС-средства диагностики позволили существенно сократить время проведения анализов (с нескольких часов до нескольких минут), тем самым упростив обследование и сделав их более удобными для пациента, а применение акселерометров в кардиостимуляторах коренным образом изменило лечение болезней сердца.

Согласно оценкам компании Yole Développement, рынок биоМЭМС для медицинской аппаратуры с 2013 по 2018 год возрастет более чем в три раза – с 1,9 млн. до 6,6 млн. долл. (рис.1) [1]. При этом в 2012 году на долю МЭМС с высокой добавленной стоимостью для медицинской электроники приходилось более 80% общих отгрузок подобных МЭМС. К МЭМС, учитывавшихся при оценке рынка, относятся датчики давления, кремниевые микрофоны, акселерометры, оптические МЭМС и датчики изображения, микродозиметры для доставки лекарственных средств, расходомеры, ИК-датчики температуры, разрабатываемые датчики (РЧ-идентификаторы, тензодатчики, аккумуляторы энергии). В свою очередь эксперты аналитической компании HIS iSupply прогнозируют увеличение продаж МЭМС без приставки "био" (акселерометров, компасов, гироскопов, микрофонов и датчиков) для медицинской электроники с 300 млн. долл. в 2012 году до 400 млн. в 2015 [2].

Yole Développement определила четыре основных сектора рынка медицинских МЭМС-препаратов: фармацевтическая продукция, средства диагностики в лабораторных условиях

(in-vitro), устройства медицинского назначения и медицинские средства надомного обслуживания. Динамика развития каждого сектора зависит от мотивации применения биоМЭМС. Если для сектора фармацевтической продукции применение микросистем определяют такие параметры, как чувствительность и возможности автоматизации, то для рынка систем диагностики in-vitro важными характеристиками являются габариты и низкая стоимость. В секторе устройств медицинского назначения особое внимание уделяется их функциональным возможностям, а в секторе медицинских средств надомного обслуживания – безопасности и коммуникационным возможностям.

Эксперты компании отметили пять основных областей применения МЭМС-систем: контроль состояния пациента, уход за больным, диагностическая визуализация, in-vitro диагноз и доставка лекарственных средств (рис.2).

Наибольшие темпы прироста продаж за рассматриваемый период, по расчетам Yole Développement, будут характерны для микрофлюидных микросхем и глазных "протезов". Рынок последних только формируется. Технология же микрофлюидной лаборатории на кристалле (LoC), позволяющая объединять на кристалле такие необходимые для выполнения биологических анализов операции, как взятие и подготовка образца для анализа, рассматривается как революционная для биомедицинской промышленности и промышленности здравоохранения. Лаборатории на кристалле уже применяются для доставки лекарственных средств и при проведении диагностики в лабораторных условиях, сокращая время и стоимость этих операций. Микросхемы лаборатории на кристалле должны привести к коренному изменению процедур, принятых в фармацевтике, биомедицине и в протеомике (науке, занимающейся определением и классификацией белков клетки).

По данным компании BCC Research LLC (США), изучающей движущие силы и тенденции развития рынков различных отраслей промышленности, выполняющая их количественную оценку, к 2017 году доля МЭМС для лабораторий на кристалле составит 72% рынка МЭМС\*. При этом основная движущая сила развития этого сектора рынка – научно-исследовательское оборудование, средние темпы роста которого за период с 2012 по 2017 год составят 28,3%. Способствовать

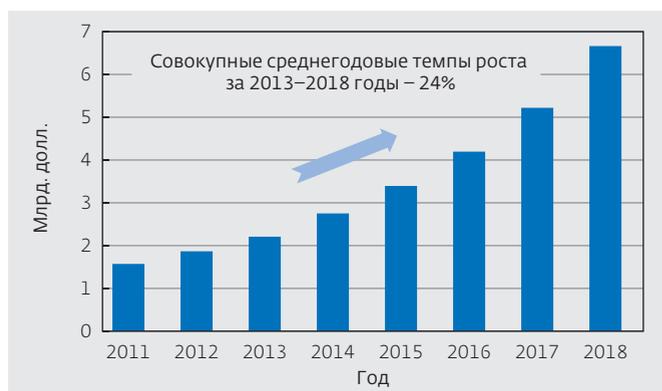


Рис.1. Динамика рынка биоМЭМС и микросистем для систем здравоохранения

\* См. наст. вып., с.182.

развитию этого сектора будут также исследовательские программы в области протеомики, геномики (направление науки, объектом изучения которой являются геномы) и анализа клеток.

Но пока наибольшим спросом, по данным Yole Développement, пользуются системы диагностики на месте оказания медицинской помощи, темпы роста которых за период с 2012 по 2017 год составят 32%, и устройства диагностической визуализации, такие как эндоскопы и приборы рентгеновского просвечивания, продажи которых в результате появлению эндоскопов разового применения увеличатся на 23% [3].

На рынке МЭМС господствуют интегрированные изготовители (integrated device manufacturers, IDMs – полупроводниковые компании,

разрабатывающие, изготавливающие и продающие интегральные схемы). Они успешно конкурируют с традиционными контрактными производителями, на долю которых приходится лишь 20% производимых в мире МЭМС. Контрактные компании преуспевают при выпуске больших объемов одинаковых микросхем, изготавливаемых по традиционной полупроводниковой технологии. Попытки использовать такую же модель при производстве МЭМС терпят неудачу. При освоении каждого нового МЭМС-элемента требуются новая производственная линия, новый материал, новые процессы осаждения и травления, т.е. каждый раз нужно "изобретать велосипед". По мнению старшего управляющего МЭМС-программой компании GlobalFoundries Ракуша Кюмара, только

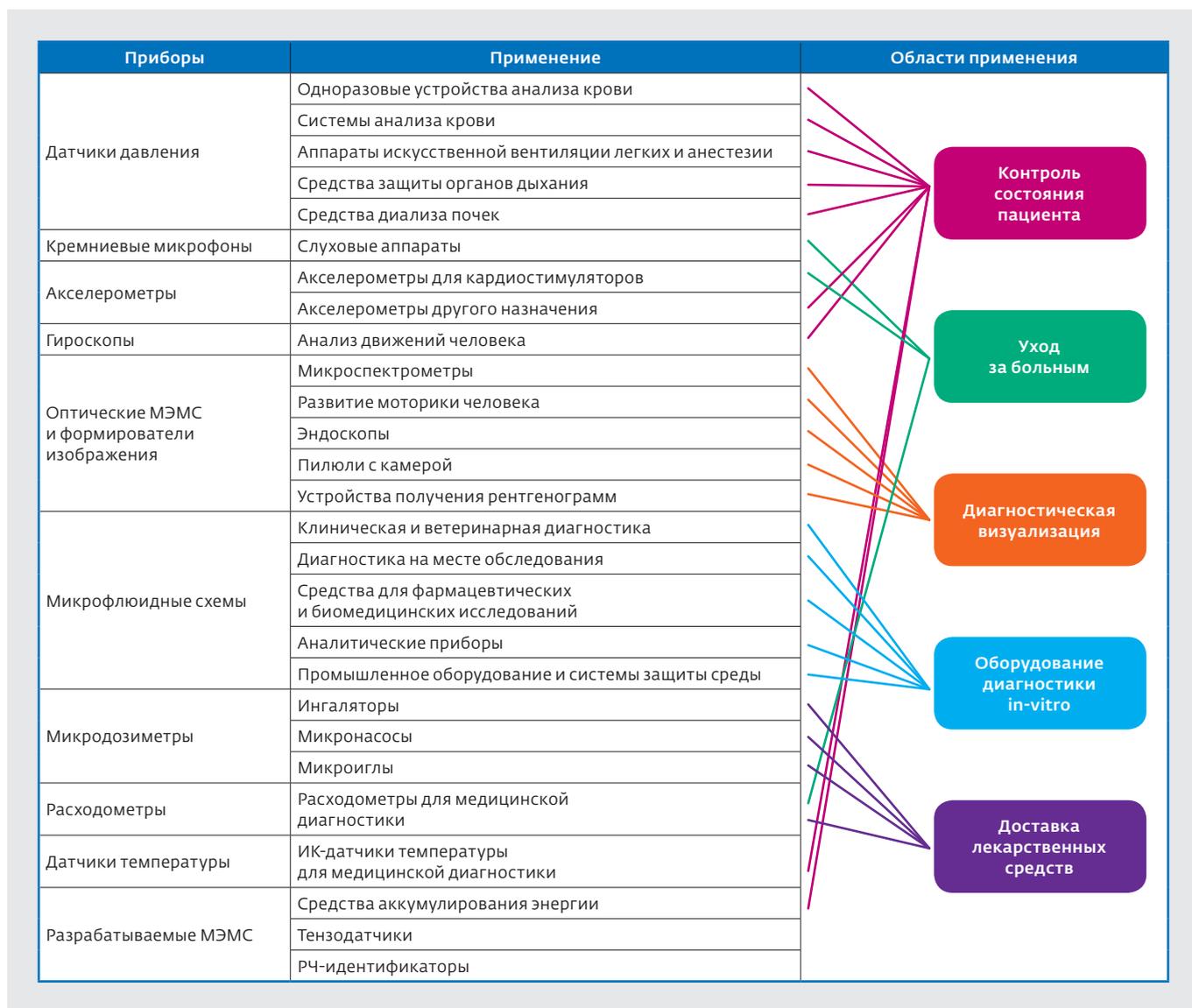


Рис.2. Основные области применения биоМЭМС

небольшое число контрактных производителей МЭМС смогут выполнить эти задачи, тогда как остальные будут вытеснены с рынка. По мнению аналитиков компании HIS iSupply, на рынке останутся только TSMC и GlobalFoundries.

## ТЕХНОЛОГИЯ

На протяжении многих лет МЭМС создавались по техническим условиям заказчика, и этап их разработки был длительным. У изготовителей МЭМС существует поговорка: "МЭМС-технология – это один процесс, один прибор". Так, для создания МЭМС-гироскопа не используются те же комплекты инструментов и процессов, что и для компаса. Процессы изготовления гироскопа и МЭМС-микрофона также отличаются и т.д. Но ситуация меняется. Активно развивается тенденция к объединению в одном приборе МЭМС-и КМОП-схем.

На рынке медицинских МЭМС появляется все больше новых компаний (start-ups), разрабатывающих новые производственные технологии, – применение гибких подложек, печатной электроники, изготовление изделий, сматываемых в рулон. При этом внимание в основном уделяется уменьшению размеров и толщины МЭМС, а также снижению их стоимости. Изготовители МЭМС обращаются к обработке пластин диаметром 200 мм. Так, компания Proteus Digital Health, производитель заглатываемых датчиков, обеспечивающих своевременный прием пациентом прописанных лекарств, располагает предприятием по обработке 200-мм пластин с объемом производства 20 тыс. цифровых МЭМС-пилюль в час. Кремниевые пластины компания получает у Fujitsu и On Semiconductor [2].

На прошедшем симпозиуме по МЭМС-технологии и бизнесу, проводимом Советом по технике корпусирования и испытания микроэлектронных систем (the Microelectronics Packaging and Test Engineering Council, MEPTEC), рассматривались перспективы применения дешевых бумажных, а не кремниевых, подложек. Сочетание МЭМС, кремниевых схем управления и изготовленных на бумажных подложках датчиков открывает большие возможности для создания разнообразных изделий для рынка МЭМС медицинских систем.

Представитель молодой startup компании MS10 сообщил о ведущихся разработках технологии, которая позволит герметизировать цифровые микросхемы тканью или гибким пластиком. Это значит, что микроэлектронные устройства уже

не будут "носить" как украшение. Их можно будет неявно размещать на коже или в теле и перейти к электронным устройствам совершенно новой формы.

Первый опытный образец гибкой схемы компании BioStamp содержит маломощный контроллер, РЧ-блок и набор датчиков. Схема погружена в полимерную пленку толщиной 1,2 мкм и может крепиться на теле как лейкопластырь или, благодаря малой толщине, как временная татуировка. Датчики регистрируют температуру пациента, пульс, активность головного мозга и степень воздействия УФ-излучения. Данные датчиков с помощью беспроводной связи ближнего радиуса действия можно пересылать для анализа смартфону. Схема BioStamp почти не заметна. Она непрерывно контролирует физическое состояние человека. Ее можно носить, не снимая, около двух недель. Крупномасштабное производство схемы планируется освоить в течение пяти лет [4].

Еще одна компания startup – Терерас (Канада) – представила технологию корпусирования, названную процессом сборки схем методом фотопечати (Photoprinting Circuit Assembly), которая сможет заменить традиционную технологию корпусирования. Согласно предложенному процессу, для захвата компонентов (до 1 тыс. одновременно) используется твердая пластина с пленкой самоклеющегося полимера. При размещении пластины над гибкой подложкой пучок света, направленный на полимер под каждым компонентом, разлагает его, и компонент "падает" на подложку. Требуемые межсоединения формируются методом фотопечати, параметры которого задают их морфологию, электропроводность и механическую стабильность. По данным компании, новая запатентованная технология пригодна для манипулирования и формирования межсоединений компонентов нанометровой толщины [5].

Специалисты некоторых университетов изучают возможность наносить датчики на кожу человека с целью проведения непосредственных контактных измерений. Исследователи Иллинойского университета в Урбане-Шампейне сумели нанести на кожу датчик, измеряющий ее температуру, натяжение и степень влажности, что позволяет следить за здоровьем или болезнью человека, а также контролировать заживление ран.

Более сложное устройство представили специалисты Калифорнийского университета в Сан-Диего. В нем объединены датчики ЭКГ и ЭЭГ,

температурные датчики, тензометры, фотодетекторы, антенна и генератор для поддержки беспроводной связи, воспринимающая катушка и светодиод. Герметизировано устройство тонкой пленкой эластичного полиэстера [6].

Многие МЭМС-устройства, используемые для диагностики, контроля физического состояния человека, хирургии и лечения, считаются медицинскими изделиями и должны отвечать требованиям государственных служб по надзору в сфере здравоохранения. Эксперты компании iSuppli считают, что эти нормативные требования являются весьма существенной проблемой для медицинских МЭМС, поскольку научные доказательства эффективности и одобрение организаций, возмещающих затраты на лечение, необходимо получить до выпуска инновационных решений на рынок. Высокая стоимость разработки МЭМС, нормативные проблемы и потребность в экономически выгодных высококачественных приборах несколько ослабляют рост рынка. Изготовители медицинских МЭМС-систем активно работают над преодолением этих факторов, сдерживающих развитие их продукции. Что же мы имеем на рынке?

### МЕДИЦИНСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ. ДИАГНОСТИКА Лаборатории на кристалле

Агентство науки, технологии и исследований (Agency for Science, Technology and Research, A\*STAR) Сингапура и компания Veredus Laboratories, поставщик оригинальных молекулярных диагностических средств, в апреле 2013 года анонсировали выпуск первой биологической лаборатории на кристалле VereFlu с использованием нуклеиновой кислоты (рис.3). Микросхема способна на основе анализа одной пробы крови опознать вирус птичьего гриппа H7N9, а также еще 13 вирусов тяжелых тропических заболеваний.



Рис.3. Лаборатория на кристалле VereFlu

Система VereFlu – первая попытка создания так называемой биосистемы VerePLEXTM. Выполнена она на платформе LoC компании STMicroelectronics, в основе которой – полимеразная цепная реакция (ПЦР), широко используемая в биологической и медицинской практике для диагностики заболеваний, и технология сенсорной микроматрицы.

Платформа биологической лаборатории на кристалле, позиционируемая на рынке как биосистема VerePLEXTM, сочетает МЭМС и микрофлюидную технологию с тем, чтобы объединить множественную амплификацию ДНК и детектирование микроматрицы для проведения быстрого, малозатратного и точного анализа биологических проб. VereFlu позволяет проводить анализы за два часа и обнаруживать вирус непосредственно при обследовании пациента, предоставляя генетическую информацию, получение которой в обычной лаборатории занимает несколько дней или даже недель [7].

Исследователи Калифорнийского университета в Ирвайне показали, что с помощью кремниевой технологии можно реализовать все компоненты, необходимые для создания лаборатории на кристалле. Разработанная схема содержит насосы перекачки жидкости с помощью пузырьков сжатого воздуха, водяного пара или газа, которые направляют жидкость в проточные каналы. Она также содержит поликремниевые нагреватели для подогрева жидкости, управляемые внешним процессором клапаны, контролирующие поток жидкости в смеситель (рис.4) [6].

### Микросхема обработки внутрисердечных сигналов

Надежный и достоверный контроль частоты ударов правого и левого желудочков сердца, а также правого предсердия важен при

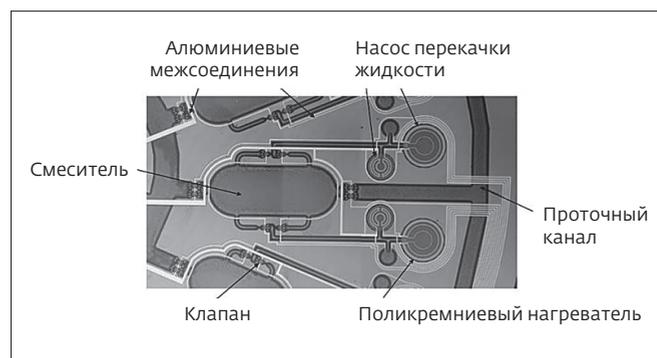
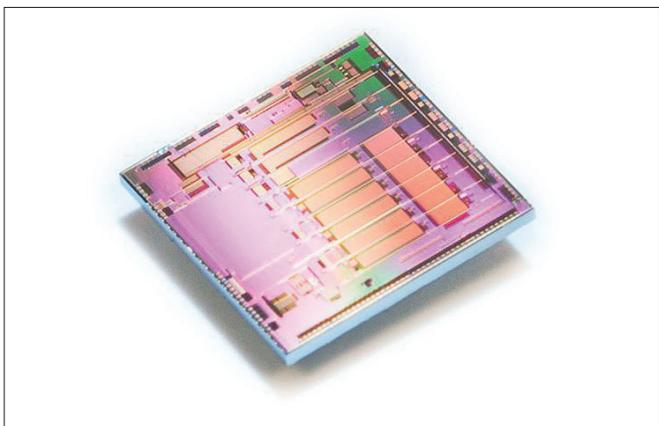


Рис.4. Микросхема лаборатории на кристалле Калифорнийского университета в Ирвайне

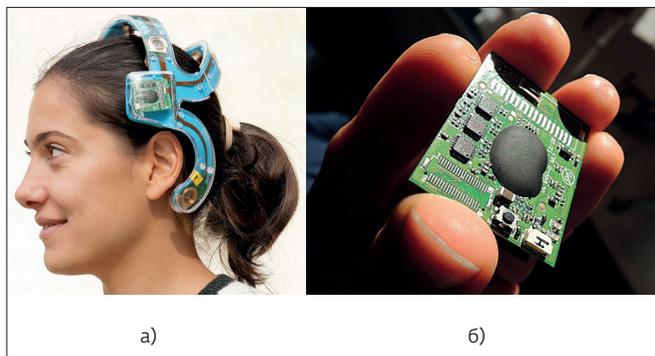


**Рис.5.** Маломощная микросхема для анализа фибрилляции желудочков сердца

ресинхронизирующей сердечной терапии с помощью имплантируемых приборов. А точные датчики движения и измерения полного грудного сопротивления, применяемые при анализе внутригрудной жидкости, имеют решающее значение для улучшения клинических обследований и анализа внутрисердечного ритма. При этом потребляемая мощность устройства контроля должна быть чрезвычайно низкой с тем, чтобы можно было уменьшать размер кардиодефибрилятора, не ухудшая качества жизни пациента.

Этим требованиям отвечает представленная на конференции ISSCC 2013 бельгийским центром прикладных разработок в сфере микро- и нанoeлектроники IMEC совместно с компанией Olympus маломощная микросхема обработки внутрисердечных сигналов для анализа фибрилляции желудочков сердца и измерения электрического внутригрудного сопротивления (рис.5). Микросхема содержит три энергоэффективных канала считывания сердечных сигналов (ЭКГ-каналы). Каждый ЭКГ-канал имеет прецизионную маломощную схему считывания внутрисердечного сигнала и сигнальный процессор для выделения данных ЭКГ-сигнала и обнаружения фибрилляции. Задержка блока обработки аналогового сигнала составляет 2 мс, потребляемая мощность – 2,3 мкВт. Потребляемая мощность микросхемы при работе всех каналов всего 20 мкВт.

Маломощный акселерометр канала считывания обеспечивает адаптивную кардиостимуляцию. Для анализа объема внутригрудной жидкости предусмотрен 16-уровневый цифровой генератор псевдосинусоидального сигнала, обеспечивающий измерение электрического внутригрудного сопротивления в интервале от 0,1 Ом



**Рис.6.** Головная ЭЭГ-гарнитура (а) и маломощный восьмиканальный чипсет – одна из схем головной ЭЭГ-гарнитуры (б)

до 4,4 кОм при динамическом диапазоне 82 дБ с разрешением 35 мОм и точностью свыше 0,7%. Все это позволяет улучшить ресинхронизирующую сердечную терапию [8].

### Головная ЭЭГ-гарнитура

Специалистами исследовательского центра IMEC, научно-исследовательского центра Holst Centre и компании Panasonic создан опытный образец беспроводной головной гарнитуры для снятия ЭЭГ (рис.6) [9]. Основа системы – маломощный (750 мкВт) восьмиканальный чипсет. Каждый канал чипсета содержит две системы активных электродов разработки IMEC и маломощный сигнальный процессор с приемопередатчиком. В микросхемы активных электродов входят бипотенциальные электроды и маломощная схема считывания ЭЭГ-сигнала. Каналы рассчитаны на передачу высококачественного ЭЭГ-сигнала при высоком уровне синфазных помех. Микросхемы выполняют функцию буферизации данных при высоком входном импедансе (1,4 ГОм на 10 Гц), позволяя вести запись сухими электродами. Их выходное сопротивление мало, благодаря чему уменьшается восприимчивость системы к помехам линии питания и шумам, вызываемым колебаниями кабеля, без применения экранированных проводов.

Микросхема способна постоянно регистрировать ЭЭГ-сигналы восьми каналов, одновременно фиксируя электрическое сопротивление контакта электрода с кожей, и пересылать данные в реальном времени приемнику, расположенному в 10 м от нее. Допускается реконфигурация системы в ходе ее работы для регулировки настройки (например, изменение числа работающих каналов или блокировка/деблокировка функции определения сопротивления).

15-17

АПРЕЛЯ | 2014

МЕСТО  
ПРОВЕДЕНИЯ  
МОСКВА  
КРОКУС ЭКСПО  
ПАВИЛЬОН 1, ЗАЛЫ 1, 2, 3



E·X·P·O  
ELECTRONICA



17-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ И КОМПЛЕКТУЮЩИХ

electrontech  
EXPO

12-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ  
И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

LEDTECH  
EXPO

4-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
СВЕТОДИОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МАТЕРИАЛОВ,  
ЧИПОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

Организаторы:



primexpo



ITE GROUP PLC



ufi  
Member



MEMBER OF UFI



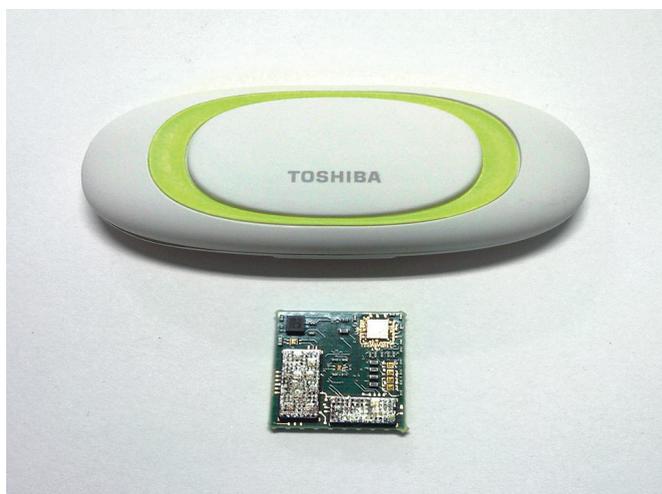
т. (812) 380 6003/07/00, ф. (812) 380 6001



electron@primexpo.ru

Условия участия  
в выставке на сайте

[www.expoelectronica.ru](http://www.expoelectronica.ru)



**Рис.7.** Модуль датчика показаний жизнедеятельности человека

Система способна автономно работать в течение 22 ч (восемь рабочих каналов и регистрация сопротивления) или до 70 ч (только один рабочий канал). Коэффициент ослабления синфазного сигнала превышает 92 дБ, шум – менее 6 мкВ при 0,5–100 Гц, отклонение в пределах допуска по постоянному току –  $\pm 900$  мВ. Чувствительность и динамический диапазон задаются программируемым каскадом (значения по умолчанию – 1,5 мВ и 366 нВ, соответственно).

Достоинства системы – работа с сухими электродами, отсутствие необходимости предварительной подготовки кожи, простота интеграции с любым устройством благодаря малым размерам (35×30×5 мм). Сравнение новой системы с обычной системой с проводной связью и влажными электродами, требующей подготовки кожи, показало, что обе системы в диапазоне 1–30 Гц работают одинаково – коэффициент корреляции 0,81–0,98 за четыре операции регистрации с открытыми глазами в течение 1 мин.

ЭЭГ-система первоначально предназначалась для регистрации работы мозга пациентов, находящихся в состоянии псевдокомы. Однако, по-видимому, основной спрос система получает на рынках спортивных и развлекательных устройств.

### Носимый модуль датчика показателей жизнедеятельности человека

По мере изменения организациями здравоохранения методов обслуживания пациентов облачная обработка данных, позволяющая сократить затраты, упростить лечение и улучшить

безопасность и результаты лечения, привлекает все большее внимание медиков. Как правило, современные средства облачной обработки медицинских данных используют такие уже имеющиеся на рынке средства, как сфигмоманометры (приборы для измерения артериального давления) или медицинские максимальные термометры (конструкция которых предотвращает быстрое опускание ртути после достижения максимального уровня). Однако в целом размеры оборудования предоставления облачных услуг велики, и одновременно работать с несколькими устройствами затруднительно.

Вот почему интерес представляет модуль датчика показателей жизнедеятельности человека Silmee (аббревиатура от Smart healthcare Intelligent Monitor Engine & Ecosystem, или интеллектуальная экосистема разумного мониторинга здравоохранения) компании Toshiba. Модуль может одновременно контролировать несколько ключевых показателей состояния пациента (кардиограмму, пульс, температуру тела и движения) и пересылать полученные данные смартфону или планшетному компьютеру по беспроводному каналу. Модуль построен на основе компактной псевдосистемы на кристалле аналогового входного блока, микросхемы 32-разрядного ARM-процессора и бескорпусной двухрежимной схемы Bluetooth-интерфейса, смонтированных в малогабаритный пластмассовый корпус размером 14,5×14,5 мм. В модуль также входят антенна, батарея и измерительные наконечники датчиков. К Silmee можно подключить любые датчики показателей жизнедеятельности, если, конечно, они не слишком большие, так как одна из причин разработки – желание сделать его миниатюрным и носимым. На Международном симпозиуме по медицинским технологиям и коммуникациям, который проходил в Токио с 6 по 7 марта 2013 года, Toshiba продемонстрировала прототип компактной системы на основе модуля Silmee, содержащей пульсометр, термометр и датчик движения. Габариты системы – 25×60 мм, масса – 10 г. Она может приклеиваться к телу пациента подобно пластырю (рис.7) [10].

### Лечение рака

**Усовершенствованный прибор захвата циркулирующих в крови раковых клеток.** Исследователи Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе (UCLA) сообщили, что улучшили ранее разработанный метод захвата и анализа раковых клеток, оторвавшихся от злокачественной опухоли пациента

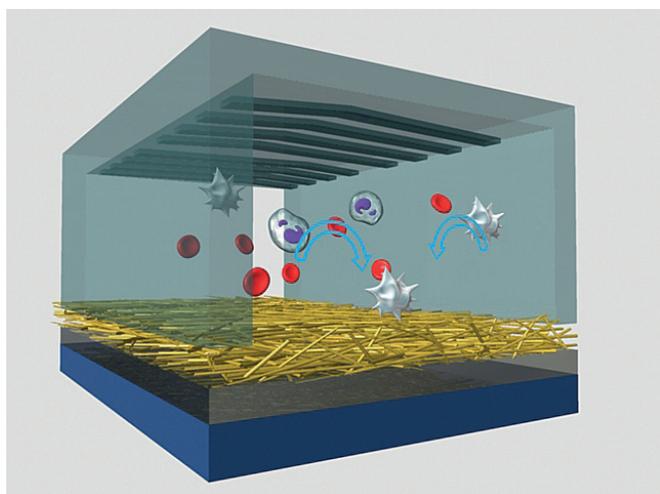


Рис.8. Последний вариант схемы NanoVelcro

и циркулирующих в крови. Циркулирующие в крови раковые клетки (Circulating tumor cells, CTC) играют основную негативную роль, способствуя формированию метастаз и раковых опухолей других органов тела. Такие клетки, удаленные из крови на раннем этапе развития болезни, могут дать врачам критически важную информацию о виде рака пациента, его характеристиках и течении болезни, а также позволяют определить наиболее эффективный способ лечения. Эти возможности предоставляет схема NanoVelcro (нанолипучка), разработанная учеными UCLA. Микросхема содержит плотно расположенные на кремниевой подложке размером 1×2 см наностолбики с иммуноглобулиновым покрытием, соответствующим белку раковых клеток. Внешне схема напоминает ворсистый ковер. При погружении в кровь она подобно мухоловней липучке захватывает находящиеся в ней раковые клетки и изолирует их для последующего анализа. В последнем варианте прибора поверх схемы сформирован микрофлюидный канал, по которому протекает кровь, что улучшило контакт наностолбиков схемы и CTC. Кроме того, непрозрачную кремниевую подложку с наностолбиками заменили прозрачной полимерной пластиной с осажденными на нее нановолокнами (рис.8). Удержанные на прозрачной подложке клетки разработчики могут собирать с помощью пучка миниатюрного лазерного ножа, так называемого метода лазерного микрорасслоения (Laser Micro-Dissection, LMD). В результате врачи смогут получать единичные CTC-клетки, проводить более глубокий их анализ и лучше диагностировать и лечить заболевание [11].

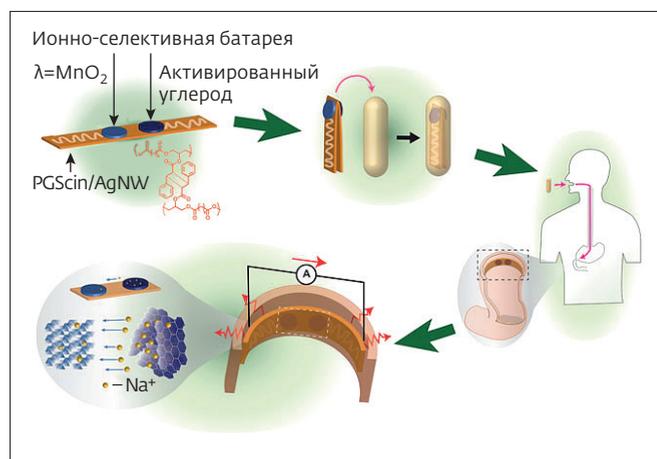


Рис.9. Работа годного к приему внутрь источника тока

### Доставка лекарственных средств

#### Принимаемые внутрь электронные схемы.

Сообщение специалистов Университета Карнеги-Меллона о разработке "годной в пищу" электроники звучит фантастически. Но они действительно создали электронные медицинские приборы, которые пациенты могут проглотить вместе с таблеткой, а лечащие врачи – получить сведения о состоянии желудочно-кишечного тракта пациента. Специалистами Университета разработан и изготовлен источник тока, состоящий из гибких полимерных электродов и ионоселективного натриевого электрохимического элемента. Гибкую полимерную пластину с электродами помещают в капсулу размером с таблетку витамина, которую можно проглотить. При этом электрохимический элемент служит встроенным источником питания на напряжение 0,6 В и ток 5–20 мкА. "Съедобный прибор" можно запрограммировать и в зависимости от размера таблетки развернуть в желудочно-кишечном тракте или в небольшой кишке, после чего батарея активизируется (рис.9).

Батарея может питать биодатчики для измерения биомаркёров (биологических признаков, по которым можно судить о развитии патологического процесса или об эффективности лечения) или для контроля состояния желудка. Она может использоваться и для обнаружения поврежденной ткани, и для доставки лекарств при лечении различных видов рака [12].

На МЕРТЕС-симпозиуме startup компания Proteus Digital Health описала разработанные ею принимаемые внутрь датчики, которые помещаются в прописанное врачом лекарственное

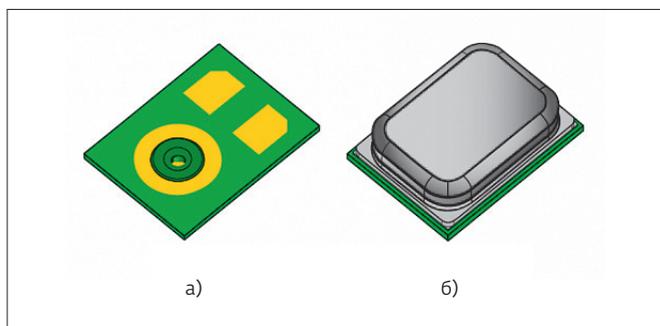


Рис.10. Малогабаритный микрофон: вид сверху (а) и вид снизу (б)

средство (пилюлю). Принимаемые внутрь датчики площадью  $1 \text{ мм}^2$  имеют подобную МЭМС-структуру, содержащую "съедобный" огибающий диск, активные слои и микросхему с 1 тыс. транзисторов. Активные слои содержат пленки хлора и магния, выполняющие функции анода и катода, соответственно. При взаимодействии с желудочным соком слои формируют возбуждаемый сигнал и пересылает его расположенному на теле приемнику, который в свою очередь может передавать сигнал смартфону.

Таким образом, пилюля с датчиком (цифровая пилюля) позволит контролировать своевременный прием лекарства пациентом: забыли принять лекарство? Пилюля доложит об этом вашему врачу. Кроме того, она может помочь лечащему врачу принять решение о необходимости медицинского вмешательства или о смене лекарства. Разработанные компанией принимаемые внутрь и носимые датчики получили одобрение Управления по контролю за продуктами и лекарствами США и поставляются на рынки США и Европы как медицинские средства [2].

### Профилактическая медицина

**Предотвращение падения.** Фраза "Я упал и не могу встать", печально прозвучавшая в известном в США в 1980-е годы телевизионном рекламном ролике, стала предметом многочисленных шуток. Но пожилым людям, подверженным падению и травмам, совсем не до шуток. Поэтому ученые Техасского технологического университета при поддержке компании Texas Instruments (TI) намерены предотвратить падение людей, особенно пожилых, с помощью модуля МЭМС-датчика и беспроводного приемопередатчика, который на основе результатов анализа положения тела и походки человека посылает ему

предупреждающий сигнал. Модуль содержит МЭМС-акселерометр, МЭМС-гироскоп, микроконтроллер MSP430 и РЧ-приемопередатчик CC2500 компании TI. Работает он на основе ультрамаломощного сетевого протокола SimpliciTI, выполняя программный стек, разработанный компанией TI. Считается, что лучшие результаты получены при размещении акселерометра и гироскопа на торсе человека.

За три года исследователям удалось создать не только беспроводной датчик, но и аналитическую программу, выполняемую ПК, который по беспроводному каналу контролирует пациентов и формирует алгоритмы, надежно определяющие вероятность падения. Таким образом, в результате проведенного анализа можно послать человеку предупреждающий сигнал, чтобы он мог за что-нибудь схватиться или сеть и не упасть. Но если пациент все-таки упадет, предупреждающий сигнал поступает медицинскому персоналу. Сейчас разработчики намерены написать код анализа для микроконтроллера с тем, чтобы предупреждающие сигналы передавались пациенту независимо от того, где он находится. Ведутся и работы по контролю других вестибулярных нарушений и болезней, включая болезнь Паркинсона, деменцию Альцгеймера и эпилепсию [13].

### Протезирование

**Малогабаритный МЭМС-микрофон для слуховых аппаратов.** Достоинства МЭМС (малые размеры, стабильность и низкое энергопотребление) делают их весьма перспективными для реализации слуховых аппаратов. Однако МЭМС-микрофоны не обеспечивают уровень эквивалентного входного шума, требуемый жесткими стандартами на слуховые аппараты. Решение этой проблемы – высококачественный, ультрамаломощный, аналоговый, всенаправленный МЭМС-микрофон ADMP801, разработанный компанией Analog Devices специально для слуховых аппаратов. Его размеры –  $3,35 \times 2,50 \times 0,98 \text{ мм}$ , потребляемый ток –  $17 \text{ мкА}$  при напряжении  $1 \text{ В}$  (доля энергии, потребляемой обычным электретьным микрофоном) (рис.10). При столь малых размерах звуковой диапазон микрофона достаточно широк: речевая составляющая звукового сигнала –  $100 \text{ Гц} - 8 \text{ кГц}$ . Такой диапазон достигнут благодаря избавлению от инфранизких и слишком высоких частот без аппаратной обработки звука. Чувствительность его составляет  $35 \text{ дБ}$ , время установки при включении до уровня чувствительности  $0,2 \text{ дБ}$  при

1 кГц – 0,8 с. Микрофон также отличается чрезвычайно низким эквивалентным входным шумом – 27 дБа SPL. Полное сопротивление аналогового выхода – 4,5 кОм. Поставляется микрофон в монтируемом на поверхность корпусе LGA-типа. Он не теряет чувствительности при пайке оплавлением [14].

## Офтальмология

**Глазной протез.** Понятие "протез" обычно связывают с искусственными ногами, руками, даже сложными управляемыми мыслью руками, но глазное протезирование до сих пор мало известно. МЭМС-технология позволила создать систему протезирования глаз, так называемый "бионический глаз", который может вернуть зрение пациентам с генетическим заболеванием глаз, называемым пигментный ретинит. У людей с таким заболеванием повреждены светочувствительные клетки сетчатки, что приводит к постепенной потере периферического зрения и в конечном итоге – к слепоте.

Система протезирования сетчатки Argus II разработки компании Second Sight Medical Products of Sylmar (пионера в этой области) возвращает совершенно слепым людям зрение. Правда, пока не полностью, но достаточное для того, чтобы свободно передвигаться. Система состоит из малогабаритной видеокамеры, монтируемой на очки, портативного компьютера, который пациент носит на поясе, и имплантируемой в сетчатку глаза микросхемы с матрицей, содержащей 60 микроэлектродов-датчиков, перекрывающих 20° зоны видимости. Изображение, фиксируемое камерой, пересылается компьютеру, программные средства которого кодируют сигнал камеры в набор электрических импульсов, отсылаемых по беспроводному каналу связи имплантированной микросхеме. Задействованные датчики схемы электрически стимулируют оптический нерв, и мозг интерпретирует образ (рис.11). Система фактически заменяет поврежденные клетки и позволяет пациентам видеть статическую или динамическую картину происходящего вокруг. Отмечается, что она работает лучше при ярком свете или при высокой контрастности окружающих предметов. Но поскольку возможно совершенствование используемых программных средств, следует ожидать улучшения качества "зрения". Предвидится и дальнейшее повышение разрешения схемы, которое сейчас составляет 60 пикселей.

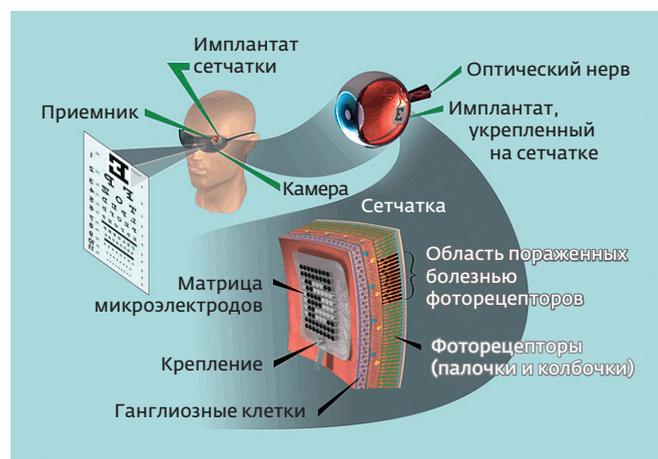


Рис.11. Действие системы Argus II

Система Argus II – результат проводившихся два десятилетия НИОКР, на которые было инвестировано 200 млн. долл. (из них 100 млн. – Национальным научным фондом США). В начале 2013 года система Argus II была одобрена федеральной службой США по надзору в сфере здравоохранения [15].

**Контактные линзы на основе управляемой МЭМС-датчиками ASIC-схемы.** Компания Sensimed (Швеция) разработала мягкую контактную линзу одноразового использования, названную Sensimed Triggerfish (спинорог), для контроля развития глаукомы и ее лечения. Глаукомой, которая может привести к слепоте при несвоевременном лечении, болеет около 4% населения Земли в возрасте свыше 40 лет. Один из ее симптомов – повышенное внутриглазное давление, которое необходимо постоянно контролировать в течение суток, поскольку оно не постоянно. Статические измерения, проводимые офтальмологами во время приема пациента, не могут зарегистрировать изменения давления.

Контактные линзы Sensimed Triggerfish одноразового использования содержат встроенные пассивные и активные МЭМС-тензодатчики, круглосуточно (в том числе и во сне) регистрирующие внутриглазное давление по изменению диаметра глаза. Данные измерения поступают на встроенную в линзу малогабаритную специализированную микросхему сбора данных ASIC-типа компании AnSem. Основной компонент схемы – высокочувствительный АЦП, позволяющий с высокой точностью преобразовывать сигналы датчиков и регистрировать изменения глазного давления. Поскольку в такой системе нет

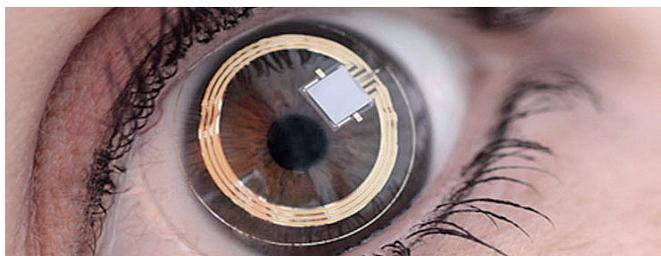


Рис.12. Мягкая контактная линза Sensimed Triggerfish

места для батареи, она должна сама себя питать. Питание обеспечивает локальное магнитное поле РЧ-антенны, располагаемой вокруг глаза и соединенной с портативной ASIC-микросхемой с помощью медного гибкого кабеля передачи данных (рис.12).

Помимо антенны, тензодатчиков и ASIC-микросхемы в систему входит проводочная катушка с заданной индуктивностью. Для получения постоянного напряжения специалисты AnSem запатентовали активный выпрямитель с умножением напряжения, который можно изготовить с помощью любого технологического процесса формирования компонентов, рассчитанных на напряжение 5 В. Микросхема с датчиками крепится на медные соединительные линии, нанесенные на контактную линзу. Врач, наблюдающий за пациентом, может переписать информацию микросхемы в свой компьютер для немедленного ее анализа [16].

\* \* \*

Медицинская промышленность требует расширения поставок и совершенствования МЭМС. Это обусловлено ростом их применения в системах здравоохранения, инновациями МЭМС-технологии, революционным развитием рынка устройств обеспечения персональной медицинской помощи, в том числе беспроводных имплантатов, а также все большей осведомленностью населения в средствах предоставления медицинской помощи и ее доступностью. Но для дальнейшего успешного развития МЭМС-компонентов на рынке медицинской аппаратуры необходимо решать все больше технических и производственных проблем. И они, конечно, будут решены.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Pele Anne-Francoise.** BioMEMS market to triple by 2018. – [www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1280382](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1280382)

2. **LaPedus M.** Medical Drives Boom In MEMS. – [semimd.com/blog/tag/meptec/](http://semimd.com/blog/tag/meptec/)
3. **MEDTECH: BIOMEMS** – [www.i-micronews.com/reports/BIOMEMS/4/345/](http://www.i-micronews.com/reports/BIOMEMS/4/345/)
4. **Grobart S.** MC10's BioStamp: The New Frontier of Medical Diagnostics. – [www.businessweek.com/articles/2013-06-13/mc10s-biostamp-the-new-frontier-of-medical-diagnostics](http://www.businessweek.com/articles/2013-06-13/mc10s-biostamp-the-new-frontier-of-medical-diagnostics)
5. **Swedberg C.** Terepac Announces Tiny NFC RFID Tags, Made Via New Assembly Process. – [www.rfidjournal.com/articles/view?9661#sthash.cVvi5bsv.MQ1cW2pK.dpuf](http://www.rfidjournal.com/articles/view?9661#sthash.cVvi5bsv.MQ1cW2pK.dpuf)
6. **Bursky D.** Microfluidics – an interesting blend of MEMS, IC technologies, and paper. – [www.chipdesignmag.com/bursky/?p=140](http://www.chipdesignmag.com/bursky/?p=140)
7. **Veredus confirms VereFlu lab-on-chip detects the current subtype of avian flu.** – [www.electroiq.com/articles/sst/2013/04/veredus-confirms-vereflutm-lab-on-chip-detects-the-current-subty.html](http://www.electroiq.com/articles/sst/2013/04/veredus-confirms-vereflutm-lab-on-chip-detects-the-current-subty.html)
8. **Pele Anne-Francoise.** IMEC chip targets ventricular fibrillation detection. – [www.eetimes.com/design/medical-design/4407283/-IMEC-targets-ventricular-fibrillation-detection](http://www.eetimes.com/design/medical-design/4407283/-IMEC-targets-ventricular-fibrillation-detection)
9. **Imec, Holst Centre and Panasonic present wireless Low-Power Active-Electrode EEG Headset/** – [www2.imec.be/be\\_en/press/imec-news/imeceeg2012.html](http://www2.imec.be/be_en/press/imec-news/imeceeg2012.html)
10. **Toshiba Develops Intelligent Wearable Vital Signs Sensor Module.** – [www.businesswire.com/news/home/20130304005652/en/Toshiba-Develops-Intelligent-Wearable-Vital-Signs-Sensor](http://www.businesswire.com/news/home/20130304005652/en/Toshiba-Develops-Intelligent-Wearable-Vital-Signs-Sensor)
11. **Mason S.** UCLA researchers further refine 'NanoVelcro' device to grab single cancer cells from blood. – <http://newsroom.ucla.edu/portal/ucla/ucla-researchers-further-improve-243495.aspx>
12. **Shiells E.** Power-up with edible electronics. – [www.rsc.org/chemistryworld/2013/04/edible-polymer-electrode-sodium-ion-electrochemical-cell](http://www.rsc.org/chemistryworld/2013/04/edible-polymer-electrode-sodium-ion-electrochemical-cell)
13. **Johnson R.C.** MEMS project aims to prevent elderly from falling. – [www.eetimes.com/electronics-news/4372785/MEMS-project-aims-to-prevent-elderly-from-falling](http://www.eetimes.com/electronics-news/4372785/MEMS-project-aims-to-prevent-elderly-from-falling)
14. **Small MEMS microphone lowers EIN, power consumption.** – [www.analog.com/en/press-release/03\\_25\\_13\\_Smallest\\_MEMS\\_Microphone\\_Designed/press.html](http://www.analog.com/en/press-release/03_25_13_Smallest_MEMS_Microphone_Designed/press.html)
15. **Argus II bionic eye implants let the blind see, and even read.** – [www.wired.co.uk/news/archive/2013-03/18/bionic-eyes-argus-ii-approved-fda](http://www.wired.co.uk/news/archive/2013-03/18/bionic-eyes-argus-ii-approved-fda)
16. **Ellwood S.** Designing MEMS driver ASIC for contact lens sensor. – [www.eetimes.com/design/medical-design/4394850/Designing-MEMS-driver-ASIC-for-contact-lens-sensor](http://www.eetimes.com/design/medical-design/4394850/Designing-MEMS-driver-ASIC-for-contact-lens-sensor)

# НОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА / РОССИЯ

## 25-27 МАРТА 2014

МОСКВА  
 ЭКСПОЦЕНТР  
 НА КРАСНОЙ ПРЕСНЕ

главная российская выставка электронных компонентов и модулей

