



# ОРГАНИЧЕСКАЯ И ПЕЧАТНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА: НА ВОЛНЕ УСПЕХА

В. Н. МЫРРИН,  
кандидат технических наук

ЕСЛИ И БУДЕТ ПРЕУВЕЛИЧЕНИЕМ СКАЗАТЬ, ЧТО ОРГАНИЧЕСКИЕ И ПЕЧАТНЫЕ СХЕМЫ СОВЕРШАЮТ РЕВОЛЮЦИЮ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ, ТО СОВСЕМ НЕБОЛЬШИМ. ВРЕМЕННОЙ ПРОМЕЖУТОК МЕЖДУ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ И ИХ ПРАКТИЧЕСКИМ ПРИМЕНЕНИЕМ НИКОГДА ЕЩЕ НЕ СОКРАЩАЛСЯ ТАКИМИ БЫСТРЫМИ ТЕМПАМИ.

Последние 10 лет мир переживает бум развития органической и печатной электроники: сотни компаний и научно-исследовательских институтов участвуют в гонке за новый рынок, который растет в геометрической прогрессии (см. рисунок) и, по прогнозам, через 10 лет на порядок увеличится.

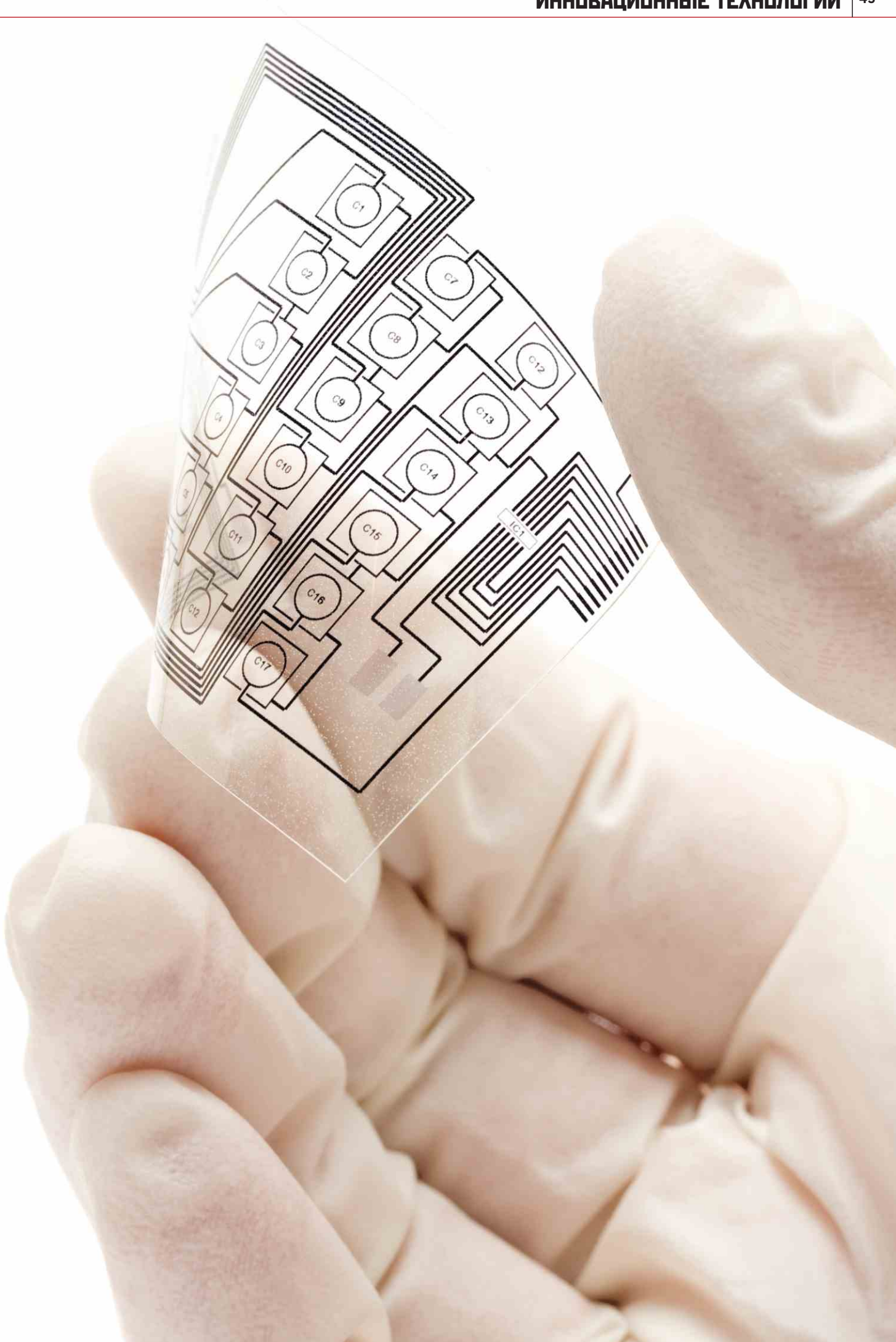
Считается, что история этого научного направления началась в 1977 году, когда химики Алан Хигер, Алан Мак-Диармид и Хидэки Сиракава

опубликовали результаты своих исследований, где показали, что модифицированный галогенными полиацетилен может проводить электрический ток почти как металл. Это открытие и другие фундаментальные исследования в области органических полимеров способствовали развитию органической электроники, которая сочетает в себе разработки в физике твердого тела и молекулярной физике, органической и неорганической химии, полимерном материаловедении, электронике и печатном деле. В 2000 году осно-

ватели этого прорывного направления получили Нобелевскую премию по химии «За открытие проводимости в полимерах».

## Новые функции

В названии микроэлектроники нового поколения, так называемой органической и печатной электроники, термин «органический» используется по той простой причине, что крошечные схемные платы с мириадами транзисторов, датчиков, светодиодов и соединительных цепей



построены уже не на основе кремния и арсенида галлия, а на базе производных углерода. Термин «печатный» означает, что они могут наноситься на легкие, гибкие, в том числе прозрачные, подложки, сматываемые непосредственно с рулонов с применением широко распространенных способов печати (трафаретной, струйной или флексопечати) в форме плоских рисунков печатных плат и структурных единиц, имеющих в настоящее время толщину порядка нескольких десятков микрон.

Еще одним активно продвигаемым вариантом их изготовления, например, в производстве органических фотоэлементов, – является последовательное газообразное напыление функциональных слоев в вакууме. Примерами практического применения новых материалов и технологий уже стали «умная» упаковка, освещение с помощью органических светодиодов OLED (Organic Light Emitting Diode), дешевые электронные метки радиочастотной идентификации RFID (Radio Frequency Identification), скручиваемые в рулон дисплеи, гибкие солнечные батареи, одноразовые приборы для диагностики, гибкие сенсорные экраны, печатные батареи, транзисторы и устройства памяти.

#### Интегрирование в изделия

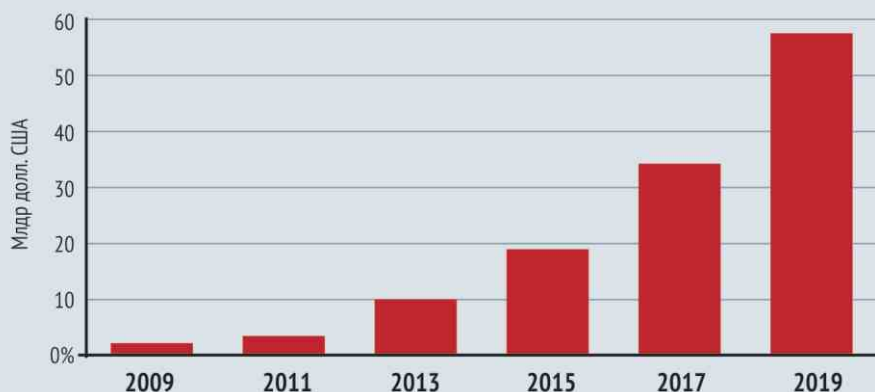
С применением технологий печати и напыления получают разнообразные электронные или фотонные функциональные поверхности в форме пленок и покрытий, которые могут наноситься на всевозможные текстильные и прочие изделия с любыми радиусами кривизны. При этом они выполняют роль емкостных датчиков или световых полей достаточно большой площади в виде органических светодиодов, комплексных датчиков для измерения важных параметров окружающей среды или медицинских показателей, таких как температура и влажность. Кроме того, они могут использоваться в качестве легких и гибких органических элементов солнечных батарей или плоских печатных аккумуляторов для обеспечения энергией миниатюрных приборов. Таким образом, спектр электроники и цифровой техники в перспективе уже не будет ограничиваться персональными компьютерами, планшетами, мобильными телефонами, игровыми приставками и тому подобными устройствами в специфическом исполнении. Новые системы могут быть без образования соединительных швов интегрированы в любые подходящие для этой цели изделия. Это открывает новые, ранее неизвестные и даже весьма экзотические возможности их встраивания в «умные» объекты и способствует расширению их взаимодействия с самоуправляемыми и автономными цифровыми системами.

#### Поле интенсивных исследований

Разработкой пригодных для практического применения материалов и изделий, а также технологий их изготовления во всем мире активно занимаются исследовательские подразделения различных компаний химической, фармацевтической, автомобилестроительной, упаковочной



**НОВЫЕ СИСТЕМЫ МОГУТ БЫТЬ БЕЗ ОБРАЗОВАНИЯ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ШВОВ ИНТЕГРИРОВАНЫ В ЛЮБЫЕ ПОДХОДЯЩИЕ ДЛЯ ЭТОЙ ЦЕЛИ ИЗДЕЛИЯ. ЭТО ОТКРЫВАЕТ НОВЫЕ, РАНЕЕ НЕИЗВЕСТНЫЕ И ДАЖЕ ВЕСЬМА ЭКЗОТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ...**



Прогноз роста мирового рынка органической и печатной электроники в денежном выражении

очной отраслей промышленности, а также производители медицинского оборудования, электроники и потребительских товаров. Органическая и печатная электроника все еще остается полем очень интенсивных исследований с долгосрочными перспективами для дальнейшего развития. В настоящее время она идет по типичному для новых технологий пути от медийной шумихи до внедрения в массовое промышленное производство. В последнем, пятом, издании «дорожной карты» Ассоциации органической и печатной электроники (OE-A: Organic and Printed Electronics Association), которая является одной из рабочих групп в рамках Объединения немецких машиностроительных предприятий VDMA (Verein Deutscher Maschinenund Anlagenbaubetriebe), посвященном возможностям практического применения и технологиям производства органической электроники, анализируются состояние и тенденции развития этой сферы деятельности на последующие 10 лет. Насчитывающая более 220 сотрудников ассоциация OE-A объединяет деятельность более 180 производящих компаний и научно-исследовательских институтов из 29 стран Европы, Северной Америки, Азии и Австралии и координирует выполнение исследовательских и прикладных проектов, а также решение вопросов стандартизации в рамках Международной комиссии по электротехнике

IEC (International Electrotechnical Commission) TC119 и других организаций. Создаваемая на основе полимерных материалов новая микроэлектроника пока еще далеко не в полной мере заняла достойное ее положение во всех секторах рынка. Тем не менее первые изделия находят практическое применение уже сейчас, о чем зачастую даже не догадываются конечные потребители, пользующиеся этими изделиями. Новые достижения в этой области являются базовой платформой для перспективного промышленного производства, объединяющего в себе принципы печатной техники, электроники и технологии полимерных материалов.

#### Экраны на органических светодиодах – первая область массового применения

Первой и очень успешной областью массового применения органической электроники стало производство небольших органических светодиодных экранов для мобильных телефонов и смартфонов. По данным аналитиков, в прошлом году оборот в этом секторе органической электроники составил 9 млрд долл. США, а к 2025 г. мировой ежегодный объем этого сектора рынка должен достичь отметки 200 млрд долл. США. Это примерно соответствует величине оборота на современном рынке традиционных кремниевых чипов. Уже рекламируются и даже существуют более крупные, характеризующиеся высо-

кой интенсивностью красок и контрастностью органические светодиодные экраны для телевизоров с диагональю 55 дюймов (например, компаний Samsung и LG). Следует, однако, отметить, что при их нынешней стоимости (около 10 тыс. долл. США) подобные экраны могут представлять интерес лишь для ярких любителей технических новинок.

Электронные устройства для чтения книг компаний Amazon или Sony, которые обеспечивают

#### Гибкие экраны

Следующий этап развития, который мог бы существенно продвинуть вперед электронные дисплеи, заключается в создании гибких (вплоть до сворачивания в трубку) электронных считывающих устройств и планшетов, изготавливаемых без применения тяжелого и хрупкого стеклянного покрытия. В этом секторе лидирует британская компания Plastic Logic с полностью автоматизированной производственной базой в

ставили измерительный формирователь видеосигналов с размерами 4×4 см и 8930 пикселями на тонкой полимерной основе.

#### Капсулирование для предотвращения воздействия водяного пара

Развитие органической фотогальваники и индикаторной техники в известной степени сдерживается необходимостью ее герметичного капсулирования в целях защиты от воздействия содержащегося в атмосфере водяного пара, которая приводит к коррозии электродных слоев и сокращению срока службы приборов. До сих пор это удавалось осуществлять только с применением жестких защитных минеральных стекол. В качестве технического решения, приемлемого для конфигурируемых произвольным образом элементов солнечных батарей и гибких экранов, могут служить наносимые путем ламинирования барьерные пленки. Наиболее пригодны для этой цели прозрачные слои из аморфного диоксида кремния (глинозема). Их разработкой и исследованием совместно занимаются различные организации, такие как Объединение фраунхофских институтов полимерных поверхностей (Polo) и Японский национальный институт современных наук (AIST).

#### Драйверы практического применения

Наиболее яркие и убедительные применения результатов упомянутых выше работ, согласно данным «дорожной карты» ассоциации OE-A, имеются в нескольких крупных областях: автомобильной и фармацевтической промышленности, производстве потребительской электроники и «умной» упаковки для продуктов питания, медикаментов и другой потребительской продукции.

Применение «умных» упаковок с изготовленными печатным способом и активируемыми с помощью радиосигналов этикетками (так называемыми электронными метками) могут способствовать существенному повышению эффективности процессов обращения с товарами и решению логистических задач. Кроме того, они могут с помощью нанесенных методом печати и динамически актуализируемых полей показывать потребителям даты конечного использования продуктов, сигнализировать о наличии перерывов в охлаждении чувствительных продуктов или гарантировать подлинность высококачественных изделий при условии обеспечения связи с данными о прослеживаемой цепочке поставок. В этой области ведущее место занимает немецкая компания PolyIC, специализирующаяся на разработке электронных меток, печатных антенн для них, а также электропроводящих прозрачных органических пленок.

В «дорожной карте» ассоциации OE-A имеется информация еще об одной актуальной разработке: в автомобилях премиум-класса уже сейчас применяются печатные антенны и печатные датчики загруженности сидений, вмонтированные в их обивку и предназначен-



Фото 1.  
Плоские аккумуляторы на основе гидрида никеля, нанесенные на рулонную пленку



Фото 2.  
Гибкий электрофоретический цветной экран электронного устройства для чтения книг или планшета с системой плат на органических транзисторах



**ПО ДАННЫМ АНАЛИТИКОВ, В ПРОШЛОМ ГОДУ ОБОРОТ В СЕКТОРЕ ОРГАНИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ СОСТАВИЛ 9 МЛРД ДОЛЛ. США, А К 2025 г. МИРОВОЙ ЕЖЕГОДНЫЙ ОБЪЕМ ЭТОГО СЕКТОРА РЫНКА ДОЛЖЕН ДОСТИЧЬ ОТМЕТКИ 200 МЛРД ДОЛЛ. США.**

привлекательность электронных книг на «электронной бумаге» благодаря используемому в электрофоретическом дисплее бистабильному принципу индикации, выгодному с энергетической точки зрения, становятся повсеместно популярными. Они в основном предназначены для вывода статичной информации, например, книжных страниц, на основе оригинальной технологии от компании E-Ink. Однако их дальнейшее коммерческое распространение в значительной степени сдерживается дисплеями Retina, используемыми в планшетах компании Apple и обладающими высоким разрешением и способностью воспроизводить видео. Если следовать инновационной логике эволюции, дисплеи Retina наряду с менее яркими LCD-дисплеями уже давно должны были бы заместить технологию E-Ink.

г. Дрездене, которая уже освоила искусство изготовления системных плат на органических тонкопленочных транзисторах, а следовательно, и активных матриц, необходимых для индивидуального управления яркостью отдельных пикселей экрана. Последним достижением в этой области является тонкий, легко гнущийся электронный дисплей с диагональю 10,7 дюйма, который при разрешении 150 точек на дюйм содержит TFT-матрицу размером 1280×960 пикселей, т.е. в общей сложности 1,2 млн пикселей.

В секторе органических сенсоров компания Plastic Logic совместно с французской компанией Isorg, дочерним подразделением крупного исследовательского комплекса CEA-LITEN в городе Гренобле (Франция), также опережает своих конкурентов. Эти компании недавно пред-



Фото 3.  
«Умная» упаковка для медикаментов со считываемой с помощью смартфона информацией



Фото 4.  
Демонстратор емкостной многоточечной сенсорной панели с прозрачной электропроводящей поверхностной пленкой

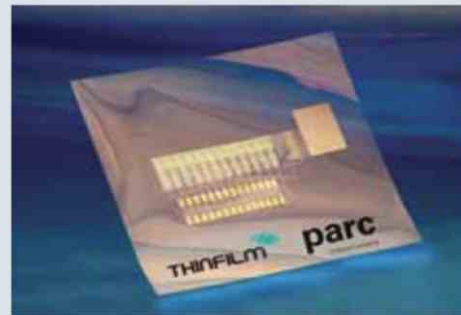


Фото 5.  
Печатная антенная решетка с адресуемой энергонезависимой памятью с логическими схемами на транзисторах как пример системной интеграции органической электроники

ные для приведения в действие (в случае необходимости) пневматических подушек безопасности. Эти датчики регистрируют массу, различая тем самым взрослых и детей. К этому же оснащению относятся органические светодиодные экраны для видеокамер заднего хода, заменяющие традиционные зеркала, системы освещения блоков приборов на приборной панели и с трудом различимые противообледенительные устройства для стекол.

Ждут своей очереди органические дисплеи и отвечающие на прикосновение датчики для замены механических индикаторов и переключателей в автомобилях. Продумываются (в частности компанией Audi) первые варианты фар заднего хода с использованием органических светодиодов, которые могут стать энергосберегающей и более экономичной альтернативой современным светодиодным фонарям. В стадии обсуждения находятся органические светодиодные световые поля, которые могли бы служить для создания регулируемых и настраивающихся по цвету потолков крыш или для выделения дверных порогов.

#### Освещение с помощью органических светодиодов

В «дорожной карте» OE-A анализируются 4 основные направления применения продукции органической и печатной электроники – освещение с помощью органических светодиодов, органическая фотогальваника, электрофоретическая сфера (электронная бумага) и дисплеи на основе органических светодиодов, а также электронные конструкционные элементы как дополнение к традиционной микроэлектронике на кремниевой основе. Из них в настоящее время в качестве наиболее претенциозного вида продукции очень оживленно обсуждаются источники света на базе органических светодиодов, так как с точки зрения энергосбережения они представляют серьезную альтернативу проверенным практикой светодиодам и галогенным лампам.

Более того, согласно «дорожной карте» OE-A, OLED-дисплеи и освещение представляют прорывное направление в этой области.

В отличие от традиционных светодиодов и точечных галогенных излучателей органические светодиоды позволяют создавать источники света достаточно большой площади с динамично регулируемым цветом излучения. Органические светодиоды могут весьма привлекательно с архитектурной точки зрения закрепляться на разных поверхностях, включая хорошо знакомые объекты домашнего хозяйства. В результате эти объекты становятся активными источниками освещения. Осветительные устройства на основе органических светодиодов уже сейчас применяются в оформительских студиях и высококачественных видах продукции компаний Osram и Philips.

#### Органическая фотогальваника и аккумуляторы

Органическая фотогальваника развивается параллельно с гибридными системами из диоксида титана и устройствами, содержащими красящие вещества, а также с чисто органическими устройствами на основе полимеров. Они в настоящее время распространяются в коммерческих масштабах. В связи с относительно низким КПД эти устройства не предназначаются для использования в качестве источников энергоснабжения в общественных сетях; они применяются только для локального обеспечения энергией потребителей и для зарядки аккумуляторов мобильных цифровых и потребительских приборов, а также измерительных станций. В долгосрочной перспективе, начиная с 2021 года, «дорожная карта» ассоциации OE-A предусматривает использование органической фотогальваники в наружном освещении транспортных средств и зданий (BIPV: Building Integrated Photovoltaics).

Системные компоненты органической электроники, которые благодаря своим уникальным

свойствам могут быть интегрированы в традиционные электронные схемы, применяются в печатных носителях информации, таких как сегнетоэлектрические и энергонезависимые пленочные носители, предлагаемые ведущим финским производителем, компанией ThinFilm. Продвигаемые этой компанией разработки одновременно являются примером системной интеграции органических компонентов различных производителей в более крупные функциональные узлы, базирующиеся на общих печатных основаниях. В частности, путем комбинирования накопителей компании ThinFilm с печатными логическими схемами на транзисторах калифорнийской исследовательской компании PARC создается программно адресуемый модуль памяти. Путем дальнейшего развития этой разработки в сочетании с печатными термисторами, панелью индикации исследовательского института Forschungsinstitut Acreo Swedish и печатными аккумуляторами могут создаваться компактные измерительные системы.

Печатные, очень плоские и гибкие аккумуляторы также оказываются в фокусе развития при решении вопросов системной интеграции органической электроники. В настоящее время в секторе одноразового применения доминирующее положение занимают угольно-цинковые аккумуляторы, а подзаряжаемые аккумуляторы на литиевой основе пока еще находятся в стадии разработки. В качестве альтернативных источников для кратковременного питания приборов рассматриваются также энергоёмкие суперконденсаторы. Их разрядка осуществляется аналогично аккумуляторам. Подобные источники электрического тока могут быть интегрированы вместе с индикаторными и световыми полями, реагирующими на касание сенсорами и элементами солнечных батарей, в упаковки, текстильные изделия и другие изделия потребительского назначения, повышая уровень их ценности и функциональности. ■