

# ПЕЧАТНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА БУДУЩЕГО РЕАЛЬНОСТЬ ИЛИ ФАНТАСТИКА?

В.Шурыгина

Потребовалось более 40 лет, чтобы объем продаж полупроводниковой промышленности достиг 300 млрд. долл. Сегодня развивается новый класс электронных и не только электронных, а и электрических приборов, рынок которых достигнет такого объема за в два раза более короткий срок. Это – устройства печатной электроники. Основная их характеристика – физическая гибкость, благодаря которой их можно печатать на любых подложках (в том числе и на бумаге), сгибать, сворачивать, встраивать в ткань и т.п. Таким образом, появляется ранее недостижимая возможность реализации самых разнообразных электронных и электрических устройств. Сейчас перед печатной электроникой стоят не только задачи снижения стоимости и совершенствования существующих приборов, но и освоение технологии создания печатных устройств будущего. В результате разработанные дорожные карты развития печатной электроники оказались ошибочными. Каковы же новые направления развития печатной электроники?

## НОВАЯ ДОРОЖНАЯ КАРТА

Сегодня печатная электроника нацелена на создание изделий с совершенно новыми свойствами. Это должно способствовать достижению в 2020 году прогнозируемого компанией IDTechEX объема продаж печатных устройств в 55 млрд. долл. Производители потребительских товаров видят потенциал расширения розничной продажи таких товаров в выпуске на рынок более наглядных, привлекающих внимание и информативных устройств, изготовленных по технологии печатной электроники. Например, специалистами Исследовательского центра компании Nokia совместно с учеными Кембриджского университета разработана электронная сенсорная панель для мобильных телефонов, которую можно сжимать как резинку (рис.1). Разработчики показали, что сжатием можно уменьшить длину панели на

20% без ухудшения ее характеристик. Технология создания устройств, которые можно будет скручивать и деформировать, приведет к появлению разнообразных носимых систем или найдет применение в одежде. И знак Т, обозначающий тенниску (T-shirt), в будущем будет указывать на то, что тенниске присущи функции телефона.

Технологию получения «разумных» тканей и одежды с помощью печатной электроники активно развивают компании **Platingtech Beschichtung** (Австрия) и **Future Shape** (Германия). А фирма **T-Ink** в США, до сих пор успешно выпускавшая игрушки и небольшие сувениры на основе печатной электроники, теперь изучает возможность уменьшения с ее помощью на 40% размера, массы и стоимости средств управления и панелей будущих электромобилей. Ведущая французская компания по наружной рекламе **JC Desaux** возлагает большие

надежды на рекламные плакаты с движущимся цветным и звучащим изображением.

Неудивительно, что ряд крупных компаний и организаций (от нефтедобывающих до предприятий атомной энергетики) сегодня стали и потребителями, и разработчиками изделий печатной электроники. Так, широкие возможности печатной электроники оценила Армия США. Ее представители изучают возможность преобразования движения в электрическую энергию с помощью печатных пьезоэлектрических пленок, разработанных Центром аккумулирующих энергию материалов (СЕНМС) Политехнического университета Вирджинии. А один из крупнейших в мире производителей ценных бумаг (банкнот, паспортов, водительских прав и др.) – британская компания De la Rue – уже некоторое время "втихую" разрабатывает собственную технологию печати на бумагу электронных устройств, получающих энергию от мобильного телефона.

Интерес к "бумажной" печатной электронике большой. По оценкам доктора Питера Харропа, председателя правления компании IDTechEx, через 20 лет, когда рынок печатной электроники



**Рис.1.** Гибкая сенсорная панель для мобильных телефонов

достигнет уровня в 300 млрд. долл., электронные и электрические устройства, напечатанные или ламинированные на бумагу, составят его основную часть.

Все эти проекты кажутся фантастическими, но через 10 или более лет они станут реальными. С учетом этих работ составлена новая дорожная карта развития печатной электроники на следующие 10 лет (рис.2). И для ее реализации в первую очередь

потребуется новые достаточно дешевые нетоксичные материалы, сочетающие электрические и электронные свойства и позволяющие выполнять разнообразные функции – от регистрации конкретных газообразных веществ до генерации энергии самыми различными способами.

### НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Сообщения нескольких фирм, в том числе NovaCentric и Intrinsic Materials, о разработке процессов печати медных пленок стимулировали состязание по замене серебряных паст, используемых для печати соединительных линий. Разработчики печатной электроники давно ищут более дешевые низкоомные материалы, самый привлекательный из которых – медь. Но предотвратить ее окисление при печати с помощью дешевых процессов и/или на подложки, не выдерживающие высокую температуру (пластмассовые или бумажные), до сих пор практически не удавалось. Эту проблему решила компания NovaCentric, выпустившая в 2010 году пасту для струйной печати на основе окиси меди Metalon ICI-020. Химический состав пасты допускает быстрое восстановление окиси. Импульсные лампы собственной разработки, используемые в установке PulseForge компании, позволяют за миллисекунды нагреть поверхность покрытия до высокой температуры, требуемой для восстановления меди и получения металлического покрытия. При этом пластмассовые или бумажные подложки практически не нагреваются. Поверхностное сопротивление медного покрытия, получаемого с помощью новой пасты, составляет 100 мОм/кВ, удельное сопротивление в три раза меньше, чем у объемной меди. Время восстановления меди в среднем равно 0,2 с при скорости печати на воздухе 100 м/мин.

Компанией Intrinsic Materials получена медная паста на основе наночастиц меди (12 об.%), пригодная для фотонного отверждения на воздухе. Пасту можно наносить на различные подложки, в том числе и на бумагу с помощью стандартных установок струйной печати медных покрытий.

Однако следует отметить, что, несмотря на хорошие перспективы, медные пасты полностью не заменят серебряные, по-

скольку они не пригодны для применения в печатных схемах, предназначенных для пищевых упаковок. Кроме того, электрохимические активируемые печатные медные соединения нарушают работу OLED-дисплеев. Поэтому продолжает развиваться и альтернативный метод использования паст на основе наночастиц серебра.

Пока менее отработаны технологии применения углеродных нанотрубок, графена и других проводящих и полупроводниковых материалов, обещающих даже лучшие характеристики, чем у используемых сегодня. Нет и больших заказов на поставку паст, пригодных для печати прозрачных электродов и способных заменить наносимые ВЧ распылением пленки оксида индия-олова (ITO). И это несмотря на высокую стоимость осаждения ITO (на 50% выше, чем при печати прозрачных органических покрытий) и хрупкость. Сейчас для замены ITO наиболее перспективными считаются гибкие прозрачные электроды, формируемые на пленке PEDOT-PSS. Ведущий поставщик этого материала марки Clevis – компания Heraeus.

Интерес представляют разработанные компанией Bayer MaterialScience (Германия) новые поликарбонатные пленки и методы изготовления на их основе трехмерных электронных схем. Совместно с компанией Add-Vision она ведет работу по печати предназначенных для дисплеев гибких органических светодиодов на поликарбонатные пленки. Компанией разработаны и проводящие пригодные



Рис.2. Дорожная карта развития печатной электроники на период 2011–2021 год

для формирования нанопасты марки BayInk, которые можно наносить методом струйной печати на гибкие полимерные и жесткие подложки в виде широких линий с разрешением менее 30 мкм.

Вопреки существовавшему ранее убеждению, что в печатной электронике будут использоваться только органические материалы, сейчас все чаще звучит мнение, что развитие должно идти по пути объединения органических и неорганических материалов. И этому есть подтверждение. В Политехническом университете Джорджии создали гибкую печатную матрицу транзисторов, в которых затворным изолятором является неорганический диэлектрик с высокой диэлектрической постоянной.

Многие разработчики в странах Восточной Азии считают, что слишком медленно снижается стоимость и улучшаются рабочие характеристики органических транзисторов, что не позволяет использовать их в потребительских товарах. На Международной выставке по плоским дисплеям в конце 2008 года компания Samsung представила 40-дюймовый телевизор, в объединительной плате которого были использованы созданные ВЧ-распылением транзисторы на оксиде цинка, что вызвало большой интерес к этому материалу. Правда, на выставке Общества информационных дисплеев 2010 года (SID 2010) компания продемонстрировала телевизор с 4,8-дюймовым экраном на основе ЖК с диспергированным полимером (PDLC) и с активной матричной адресацией на органических транзисторах, выполненных на пластмассовой подложке. Тем не менее, в компании Samsung считают, что с освоением производства транзисторов на основе оксида индия темпы развития органических транзисторов снизятся. И многие изготовители согласны с этим мнением.

В Новом университете Лиссабона (**New University of Lisbon**) создан полевой транзистор на оксиде цинка, в котором затворным диэлектриком служит бумага. Казалось бы, применение бумаги в качестве диэлектрика в транзисторе, изготавливаемом тоже на бумаге, противоречит здравому смыслу, поскольку это приведет к увеличению его рабочего напряжения. Но специалисты университета утверждают, что бумага может служить и подложкой, и затворным диэлектриком.

Вместе с тем растет число печатных схем без транзисторов. В Австралии издатели журнала **Canvas Magazine** выпустили февральский номер, обложка которого выполнена на основе печатной электронной схемы без транзисторов. Электронная схема обложки напечатана с помощью электрохромной пасты компании NTERA и состоит из

"монеток", которые при прикосновении к ним начинают светиться в результате замыкания цепи питания от печатной батареи на напряжение 1,5 В компании **Blue Spark Technologies** – лидера в области производства ламинарных батарей на бумаге.

В университете Кейптауна (ЮАР) успешно ведутся работы по коммерциализации устройств, изготовленных на "дробленном" кремнии, нанесенном на бумагу или другие подложки. Основываясь на принципе "сначала иди, потом беги", первые приборы, созданные на таком кремнии – диоды, которые могут служить основой для термисторов. В дальнейшем предполагается изготавливать выпрямители, генераторы подкачки заряда, делители напряжения и, наконец, транзисторы. Разработчики уверены, что эти приборы, хотя их рабочие характеристики нельзя считать очень высокими, найдут достаточно широкое применение.

Сейчас лишь компания **Kovio (США)** выпускает значительные объемы печатных схем с кремниевыми полевыми транзисторами для электронных проездных билетов, используемых на транспорте Лос Анджелеса. Схема содержит более 1000 кремниевых транзисторов, полученных струйной и трафаретной печатью на пластмассовой подложке, которая затем вставляется в бумажный билет.

## ОБОРУДОВАНИЕ ПЕЧАТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Наиболее широко в печатной электронике используются методы осаждения, трафаретной и струйной печати, все чаще изготовители обращаются к флексографской и глубокой печати, изредка – к высокой печати. Многие издательства планируют на основе существующей инфраструктуры и с помощью современного полиграфического оборудования освоить технологии печати электронных (или электрических) схем. Так, органические фотовольтаические приборы и светодиоды можно изготавливать с помощью обычных систем печати без их существенной модификации.

Расширяется применение струйной печати для нанесения электродов солнечных батарей, не допускающих из-за своей малой толщины контактного осаждения. Растет интерес к технике глубокой печати – достаточно простому, рентабельному, высокопроизводительному методу формирования печатной электроники. Достоинством этой технологии является и меньшее потребление пасты, чем при трафаретной печати. Ее недостатком до последнего времени считались большие размеры традиционного оборудования, но с появлением относительно небольшой установки модели AccuPress MicroGravure для глубокой печати микроэлементов

тов печатной электроники компании Daetwyler R&D (США) ситуация начала меняться. Компания Add-Vision уже производит на этой установке гибкие дисплеи на органических светодиодах.

Особый интерес вызывают установки печати с рулона на рулон, которые заменяют используемое в электронной и электротехнической отраслях промышленности относительно малопроизводительное оборудование и позволяют выпускать компактную потребительскую и промышленную печатную электронику. В Европе развернут проект по координации действий производителей технологического и промышленного оборудования и систем для полимерных и печатных электронных устройств (**Manufacturing and Production Equipment and Systems for Polymer and Printed Electronics, PRODI**). Цель проекта – повышение конкурентоспособности оборудования печати полимерных и печатных устройств с рулона на рулон европейского производства за счет объединения работ производителей установок печати, нанесения покрытий и другого автоматизированного оборудования, а также интеграторов производственных линий и поставщиков контрольно-измерительной аппаратуры. Корейский институт машиностроения и материаловедения (Korea Institute of Machinery and Materials, KIMM) на конференции **Printed Circuits USA 2010** представил установку глубокой/офсетной печати с рулона на рулон, позволяющую печатать проводящие прозрачные линии (для замены ИТО) с шириной и зазором 20 мкм и точностью менее 10 мкм.

### ГИБКИЕ ПЕЧАТНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

Темпы развития органических солнечных батарей сегодня замедлились, в основном из-за их малого срока службы (всего несколько лет). Сейчас органические солнечные батареи не могут заменить электростанции. Но, тем не менее, многие пользователи отдают им предпочтение, поскольку они более экологичны и менее опасны для здоровья, чем традиционные неорганические альтернативные устройства. Они перспективны для применения в игрушках, упаковке, солнечных сумках и т.п. Считается, что ребенок может даже надкусить солнечный элемент без вреда для себя. Возможно, рынок гибкой фотовольтаики будет разбит на множество ниш, что потребует создания самых разнообразных приборов и материалов различного химического состава для их изготовления.

Совершенно новый подход к созданию устройств фотовольтаики предложила компания Oxford Photovoltaics, выделившаяся из Оксфорд-

ского университета. Используя результаты ранее проведенных исследований солнечных батарей из искусственного фотосинтетического материала, полученного с помощью электрохимической технологии, и пластмасс с полупроводниковыми свойствами, специалисты компании создали пригодные для производства печатные твердотельные солнечные батареи на основе сенсублизированных красителей. Главное достоинство новой разработки – отсутствие жидкого электролита, летучесть которого сдерживает развитие солнечных батарей этого типа. Разработчики заменили жидкий электролит твердотельным органическим материалом с полупроводниковыми свойствами. Модули таких солнечных элементов можно наносить трафаретной печатью на стекло и другие поверхности большой площади, не заботясь об их герметизации. Можно менять их цвет. Они весьма перспективны для печати на глазурованные стеклянные панели и стены зданий.

Такие новые разработки, как невидимые электронные и электротехнические устройства, выполненные на печатных прозрачных компонентах или печатных метаматериалах, искривляющих световые лучи, самовосстанавливающиеся наподобие естественных растений солнечные батареи на основе углеродных трубок, кажутся фантастическими.

Очевидно, что печатная электроника позволяет не столько улучшать привычные корпуса приборов, афиши, книги, источники питания, сколько придать им новые свойства. Так, в книге о птицах с печатной электроникой при прикосновении к рисунку птица запоет. Автомобили будут светиться в темноте, а размеры их салона будут намного больше, чем у современных машин, самолеты и подводные лодки будут контролировать пространство вокруг себя, боевые летательные аппараты – разрушать наведенные на них ракеты. И все это обеспечит "умная обшивка" – множество печатных слоев электронных и электрических устройств. Предшественник таких систем – разрабатываемый компанией **Northrop Grumman** **дирижабль** для зондирования Земли, для питания которого будет использоваться тонкопленочная фотовольтаика, нанесенная на его поверхность (применение "тяжелых солнечных батарей на стеклянных панелях" здесь не приемлемо).

Таким образом, существует множество перспективных областей применения печатной электроники, для производства которой не нужны чистые комнаты и чрезмерно дорогое оборудование. ●