

## ПЕРСПЕКТИВЫ

# Гибридная кухня

или что можно приготовить  
из классической  
и печатной электроники?



Текст: **Антон Нисан**  
По материалам Хольст Центра

”

На выставке и конференции по печатной электронике LOPE-C 2014, состоявшейся в конце мая в Мюнхене, наиболее ярко прозвучала тема гибридной («полупечатной») электроники, объединяющей в себе преимущества печатной и классической. О том, что это такое и зачем это надо, мы расскажем в данной статье.



1 «Схема процесса изготовления» гибридной электроники. Шеф-повар — Яап Ломбаерс (Jaap Lombaers), директор Хольст Центра, раскрывший в своем докладе концепцию печатной электроники. Источник: Хольст Центр

## Концепция гибридной электроники

Концепция гибридной электроники в увлекательной форме и с интересным содержанием была предложена представителями Хольст Центра в нескольких докладах рис 1. Гибридная электроника сочетает в себе преимущества классической: высокую степень интеграции и большую вычислительную мощность, светодиодные и жидкокристаллические дисплеи и индикаторы, технологию монтажа компонентов и печатной: недорогие функциональные схемы на больших площадях, органические светодиоды и солнечные батареи, печатные батарейки, гибкие основания и печатные проводники и антенны. Такой симбиоз делает возможным создание новых изделий, которые, с одной стороны, обладают достаточной вычислительной мощностью и распределенной функциональностью, а с другой — являются гибкими, растягиваемыми, легко интегрируемыми, тонкими, носимыми 1 1.

Компоновка гибридной электроники выполняется следующим образом: электронные компоненты (чип-компоненты, утоненные кристаллы, компоненты flip-chip) размещаются на гибких островках, соединенных растягиваемыми шлейфами в форме меандра, как пока-

зано на рис 2. Максимальное относительное удлинение растягиваемых фрагментов, при котором деформация является упругой, составляет около 40%. Естественно, в тех случаях, когда не требуется растягивание, все компоненты могут размещаться на одном островке.

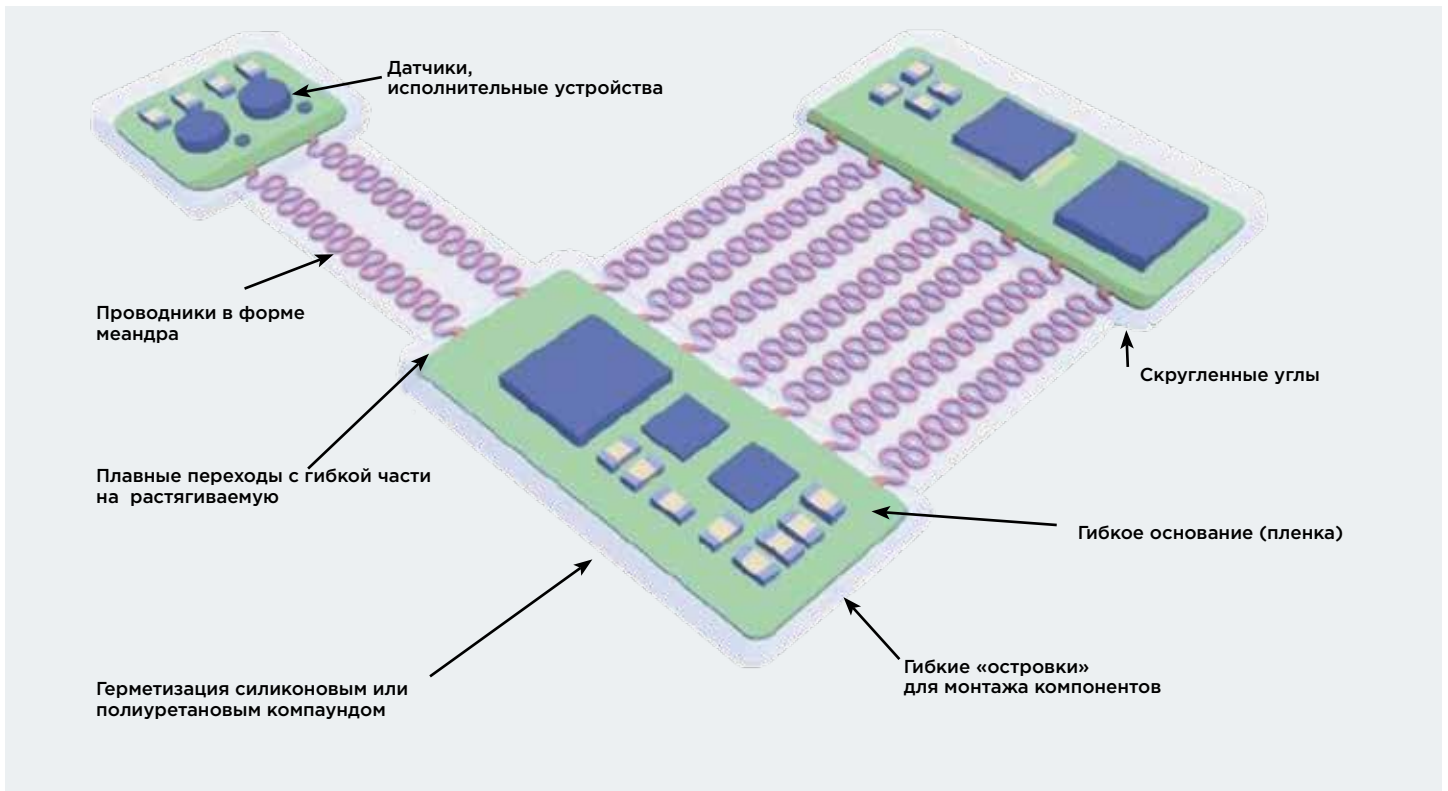
## Монтаж компонентов

Монтаж компонентов рис 3 и рис 4 на гибкие основания может выполняться следующими методами:

- на изотропно электропроводящий клей;
- на анизотропно электропроводящий клей;
- на анизотропно электропроводящую пленку.

Изотропно электропроводящий клей, содержащий проводящий наполнитель и обеспечивающий проводимость во всех направлениях, наносится трафаретной печатью или дозированием с шагом  $\geq 0,5$  мм в условиях производства и  $\geq 0,15$  мм — в лабораторных условиях.

Анизотропно электропроводящий клей применяется при монтаже компонентов с мелким шагом выводов, ког-



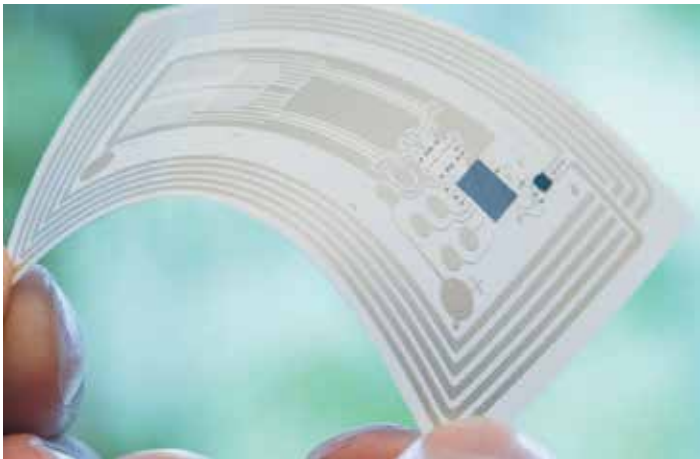
2 Компоновка гибридной электроники. Источник: Хольст Центр

да использование изотропно электропроводящего клея затруднительно из-за сложности качественного нанесения. Анизотропно электропроводящий клей содержит относительно небольшое количество токопроводящих частиц (металлических либо полимерных, покрытых металлом) диаметром, как правило, не более 10 мкм. Такой клей может наноситься на всю площадь посадочного места компонента, а не только на контактные площадки, так как после температурного отверждения с приложением давления клей проводит ток только по оси Z.

Использование анизотропно электропроводящей пленки позволяет отказаться от необходимости дозирования клея. Пленка наклеивается на основание, а под действием усилия, прикладываемого при установке компонента, образуются вертикальные связи между токопроводящими частицами пленки, соединяющие контакты компонента с контактными площадками основания. При использовании ряда пленок кроме приложения давления требуется нагрев.

Т 1 Актуальность преимуществ гибридной электроники для различных областей применения. Источник: Хольст Центр (+ высокая, ++ очень высокая)

Вычислительная мощность + ...	Область применения					
	Медицина и здоровье	Автоэлектроника и аэрокосмическая техника	Метки с датчиками, например в сельском хозяйстве	Датчики большой площади	Портативные информационные системы	Информационные указатели, вывески
Комфортное размещение на теле	++					
Прочность, устойчивость к воздействиям	++	+	++	+	++	+
Малая толщина и вес	+	++			++	
Гибкость в процессе эксплуатации	+	+			+	
Распределенная по большой площади функциональность	+	+	+	++	+	++
Легкость интеграции в изделия сложной формы		++	++	++	+	++
Низкая стоимость	+		+	+		



**3** Монтаж утоненных кристаллов на гибкое основание. Этикетка для контроля свежести рыбы по содержанию аммиака: чем выше содержание аммиака, тем менее свежая рыба. Источник: Хольст Центр



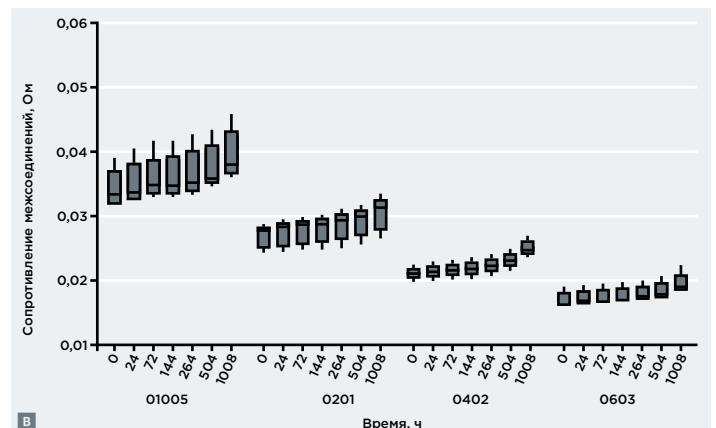
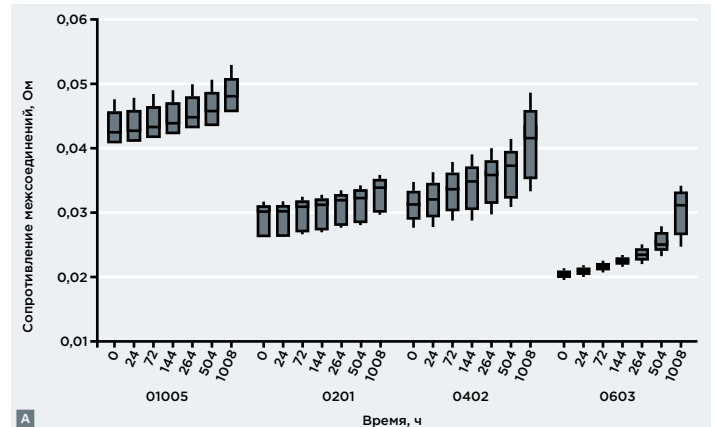
**4** Гибкость утоненного кристалла. Толщина кристалла 18 мкм. Источник: IMS-chips

### Стойкость к внешним воздействиям

Очевидно, что монтаж «жестких» компонентов на гибкие пленки вызывает вопрос о надежности такой конструкции и ее стойкости к внешним воздействиям. В качестве ответа приведем результаты испытаний тестовых образцов на гибких основаниях с установленными на электропроводящий клей чип-компонентами 01005, 0201, 0402 и 0603. Для сравнения дорожки и контактные площадки на одной группе образцов напечатаны Ag пастой на полиэтиленнафталате (PEN), а на другой — вытравлены из Cu фольги на полиэтилентерефталате (PET).

Для оценки надежности соединений было проведено термоциклирование в диапазоне от -40°C до +125°C с длительностью цикла 1 час, существенно не изменившее сопротивление клеевых соединений компонентов 01005-0603 рис 5.

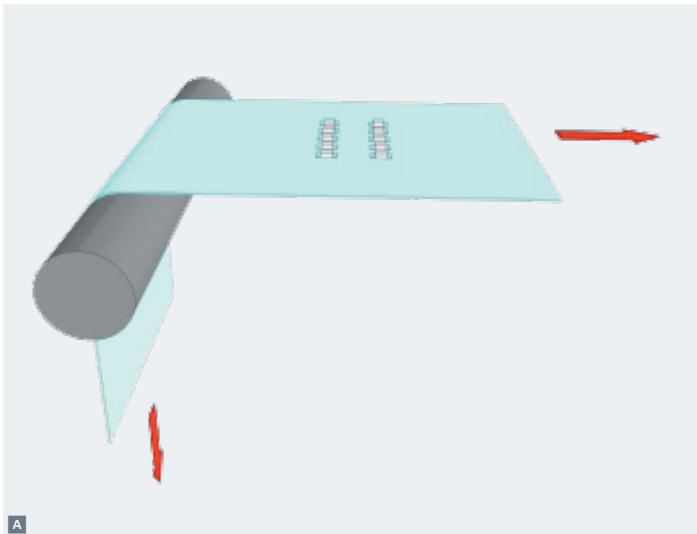
В результате испытаний на изгиб установлено, что сопротивление клеевых соединений компонентов от 01005 до 0402 практически не изменилось после 1000 циклов с радиусом изгиба 5 мм. Минимальный радиус изгиба оснований с компонентами 0603, не приводящий к существенному росту сопротивления клеевых соеди-



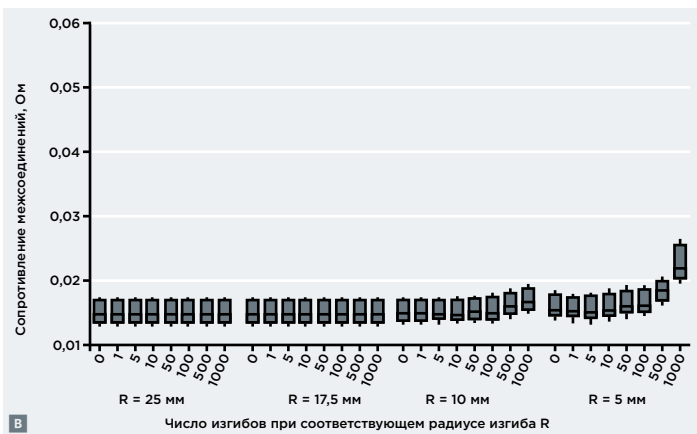
**5** Результаты термоциклирования: **A** образцы с напечатанными Ag контактными площадками, **B** образцы с контактными площадками, вытравленными из Cu фольги. Источник: Хольст Центр

нений, составил 10 мм рис 6. Интересно отметить, что при испытаниях оснований с компонентами 0603 на изгиб с радиусом 5 мм рост сопротивления соединений с вытравленными контактными площадками рис 6B оказался на несколько порядков больше, чем с печатными рис 6C.

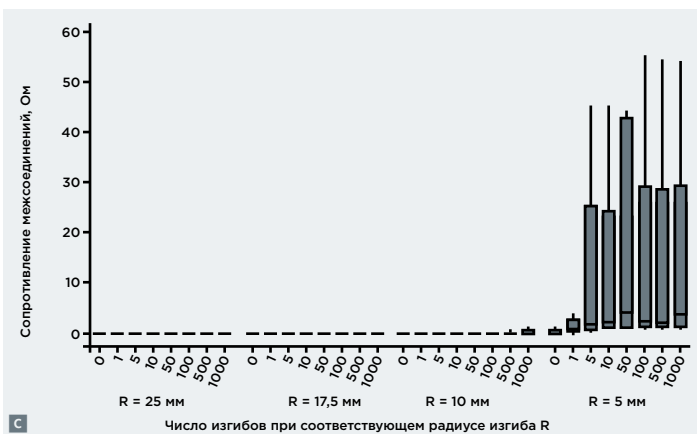
Испытания на сдвиг смонтированных на электропроводящий клей компонентов показали, что усилие сдвига приклеенных чип-компонентов 01005 и 0402 не более чем в три раза уступает усилию сдвига компонентов, припаянных к жестким печатным платам, составившему в среднем 15,1 Н для 0402 и 2,5 Н для 01005 рис 7, T 2.



A

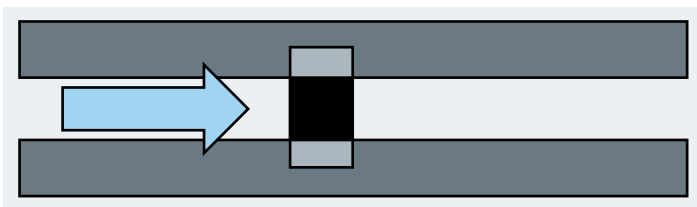


B



C

6 Испытания оснований с компонентами 0603 на изгиб: **A** схема размещения компонентов относительно направления изгиба, **B** результаты испытаний образцов с напечатанными Ag контактными площадками, **C** результаты испытаний образцов с контактными площадками, выравненными из Cu фольги. Источник: Хольст Центр



7

Направление усилия сдвига компонента. Источник: Хольст Центр

T 2

Усилие на сдвиг компонентов 01005 — 0603, установленных на электропроводящий клей. Источник: Хольст Центр

Тестовые образцы	Усилие на сдвиг, Н			
	01005	0201	0402	0603
С печатными проводниками	1,62	3,4	6,64	9,68
С выравненными проводниками	2,18	2,16	8,2	11,14

### Примеры устройств гибридной электроники

Применение гибридной электроники в медицине актуально для решения следующих задач рис 8:

- измерения температуры;
- снятия кардиограммы;
- измерения насыщенности крови кислородом (пульсоксиметрия);
- отслеживания активности головного мозга (например, больных эпилепсией);
- измерения проводимости кожи;
- мониторинга мышечной активности;
- мониторинга и анализа движений;
- неинвазивного мониторинга уровня глюкозы в крови;
- медленного управляемого введения лекарственных средств.

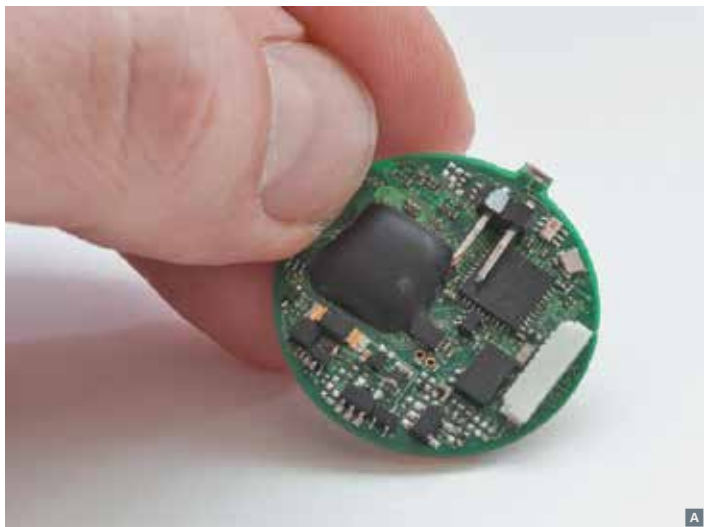
Одной из наиболее успешных областей применения гибридной электроники в медицине могут стать сети нательных датчиков (body area networks, BAN), отслеживающие основные физиологические параметры жизнедеятельности организма и передающие их, например, на смартфон пациента, а затем через интернет лечащему врачу. Для обеспечения максимального комфорта



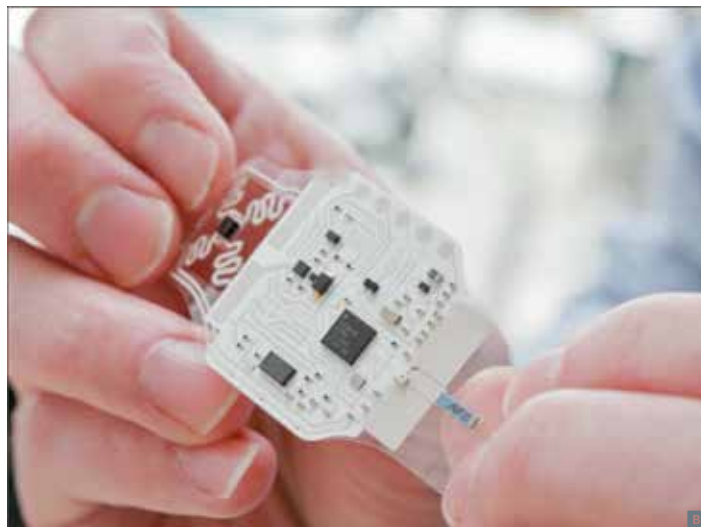
8

Выполненный по гибридной технологии браслет, измеряющий температуру, влажность, движение и сердечную активность пациента. Источник: Хольст Центр





А



В

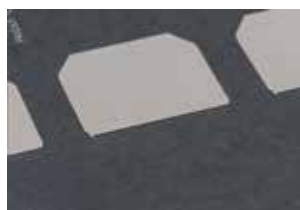
9 Модуль сети нательных датчиков, содержащий датчики для снятия кардиограммы, акселерометры, датчики температуры и влажности: а) в «классическом» исполнении, б) в «гибридном» исполнении. Источник: Холст Центр

пациента модули сети должны быть легкими, гибкими, растягиваемыми — всё это может быть достигнуто применением гибридной электроники: на рис 9 приведены фотографии модуля сети нательных датчиков, содержащего датчики для снятия кардиограммы, температуры и влажности, акселерометры в «классическом» и гибридном исполнении.

Схема процесса печати основания модуля сети представлена на рис 10, все слои наносятся трафаретной печатью, для токопроводящих слоев используется Ag паста.

Об «умной» упаковке для таблеток, которая фиксирует время, когда таблетка извлекается из упаковки, мы уже писали<sup>1</sup>. В этот раз на конференции LOPE-C было представлено дальнейшее развитие идеи: «умная» часть, содержащая электронику, фиксирующую вскрытие упаковки и передающую данные на смартфон, выполнена на отдельном основании для многоразового использования и подсоединяется к одноразовому блистеру с таблетками.

Другим ярким примером гибридной электроники являются «умные» контактные линзы, прототипы которых демонстрировались компанией Google в этом году. В январе компания показала прототипы линз, определяющих уровень глюкозы в крови по омывающей глаз слезной жидкости рис 12. Здесь питание и передача результатов измерения осуществляются по беспроводному интерфейсу. Более того, в апреле компанией Google подана патентная заявка на контактную линзу с камерой<sup>2</sup>. Такие линзы могут быть полезны слепым или слабовидящим людям: камера отслеживает направление взгляда человека, по беспроводному интерфейсу передает изображение на смартфон, который



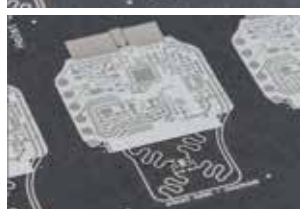
Печать слоя земли



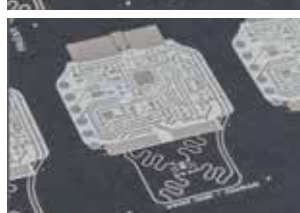
Печать диэлектрического слоя



Печать сигнального слоя



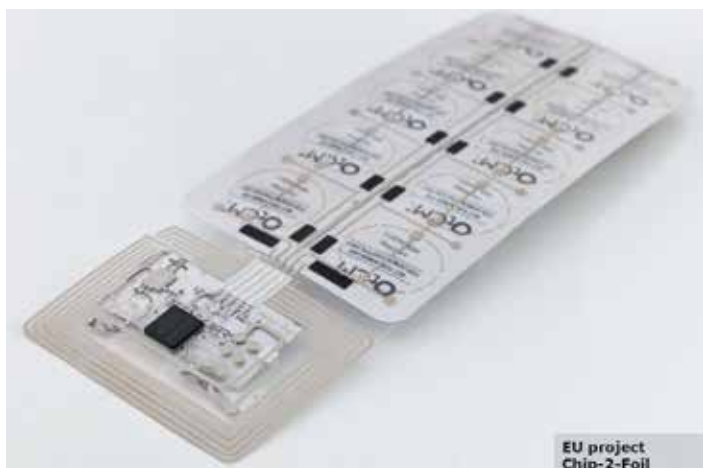
Печать диэлектрического слоя



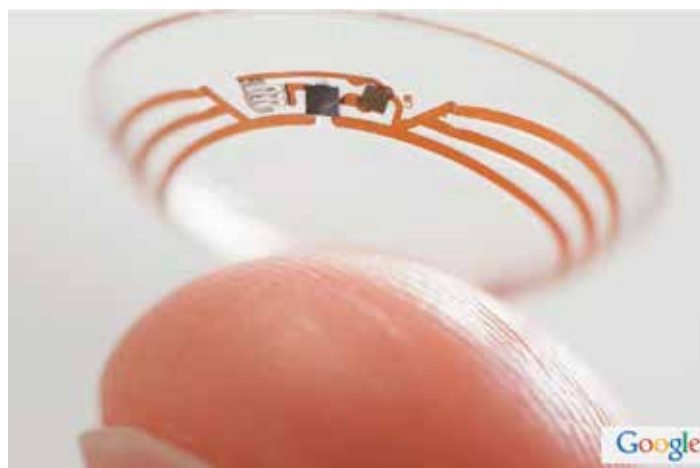
Печать сигнального слоя

10 Схема процесса печати основания для модуля сети нательных датчиков. Источник: Холст Центр

1 А. Ефремов, А. Нисан. Задельные технологии. Перспективы развития печатной электроники // Вектор высоких технологий. – 2013. – №2. – С. 4-9.  
2 <http://www.wired.co.uk/news/archive/2014-04/15/google-contact-lenses-cameras>



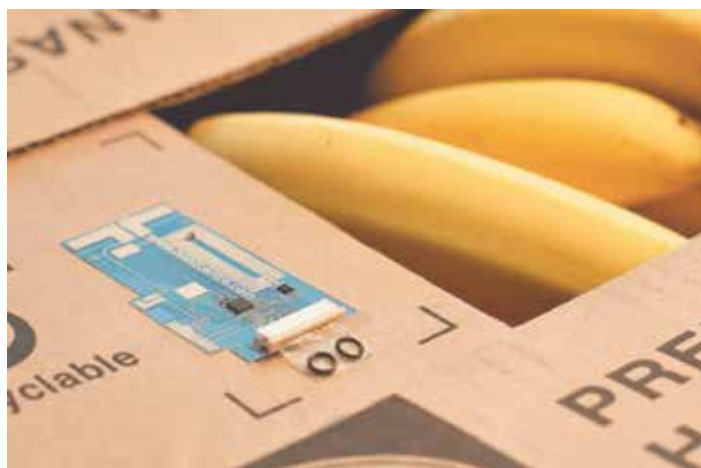
11 «Умная» упаковка таблеток, в которой электронная часть многоразовая. Источник: Хольст Центр




12 Прототип контактной линзы, измеряющей уровень глюкозы. Источник: Google

распознает объекты в поле зрения человека (например, лица людей, окружающие здания) и опасные ситуации (например, риск наезда автомобиля) и выдает соответствующую голосовую информацию или предупреждение пользователю.

В сельском хозяйстве и торговле широкое применение могут найти датчики свежести рыбы рис<sup>3</sup> и мяса, а также датчики спелости овощей и фруктов. Хорошо известно, что овощи и фрукты для продажи в магазинах снимаются недозрелыми. Созревание овощей и фруктов происходит под воздействием этилена, которые сами они и выделяют, даже будучи сорванными<sup>3</sup>. А чем больше этилена выделяет плод, тем он более спелый, поэтому, измеряя концентрацию этилена рядом с плодами, можно определить их спелость рис<sup>13</sup>.



13 Датчик спелости фруктов. Источник: Хольст Центр

**Гибридная электроника позволяет реализовать многие преимущества печатной, не дожидаясь, пока последняя разовьется до возможности промышленной печати активных компонентов, которые могли бы заменить классические хотя бы в простейших применениях, не требующих большой вычислительной мощности и объема памяти. Несколько удачных, на наш взгляд, идей конечных применений приведены в статье. Весьма вероятно, что и у вас зародились свежие идеи применения гибридной электроники в ваших изделиях. Мы открыты для сотрудничества по печатной и гибридной электронике и с удовольствием выслушаем ваши идеи и попробуем вместе реализовать их!** 

<sup>3</sup> Для ускорения созревания овощи и фрукты могут обрабатывать этиленом в конце транспортировки или перед выкладыванием на прилавки в магазинах.