



ПРОТОТИП ИЗДЕЛИЯ ЗА ПОЛЧАСА

Николай Павлов
edu@ostec-group.ru

Любой разработчик и производитель электроники сталкивался с ситуацией, когда схема разработана, сдана рабочая конструкторская документация (РКД), а запуск изделия в производство задерживается из-за ожидания печатной платы или ЭКБ. Самая неприятная ситуация, когда всё простаивает не из-за отсутствия сложной микросхемы, а из-за дефицита резисторов, которых не оказалось на складе. При этом разработки становятся всё сложнее, а элементы специализированнее. Технология печатной электроники, активно развивающаяся на данный момент, позволит в скором будущем сократить сроки прототипирования изделий электроники и самостоятельно изготовить схему и элементы любых уровней сложности. Давайте посмотрим, что можно сделать с помощью печатных технологий уже сегодня.

ВВЕДЕНИЕ

Как уже было рассказано в других статьях, при помощи технологий печатной электроники можно выполнить разнообразные изделия:

- RFID-метки (статья «Как изменится наше будущее с технологиями печатных RFID» Поверхностный монтаж №5 (97), ноябрь 2012);
- печатные батарейки (статья «Гибкие печатные батарейки и аккумуляторы» Поверхностный монтаж №4 (96), сентябрь 2012);
- электрические схемы и полупроводниковые структуры (статья «Дорожная карта органических и печатных компонентов» Поверхностный монтаж №2 (94), апрель 2012).

Большинство из представленных изделий немислимо без простых элементов (резисторы, конденсаторы, индуктивности) и более сложных полупроводниковых приборов – их можно выполнить по печатным технологиям. В данной статье мы рассмотрим технологии, схемы изготовления пассивных и активных ЭРИ, оценим перспективы их развития и применения.

Различные элементы, выполненные по печатной технологии, по

сравнению с «классическими» имеют как преимущества, так и недостатки. Однако перспективы дальнейшего развития, например, памяти, выполненной печатным методом, представленные на рисунке рис. 1, и являются мощным стимулом для проведения исследований и работ по данному направлению.

В общей оценке перспектив развития рынка печатной электроники к 2029 году доля пассивных и активных элементов, а также проводников составит порядка 120 миллиардов долларов (Таблица 1).

Из представленных материалов оценки развития рынков видно, что печатные элементы как простые пассивные, так и сложные – логика/память, будут занимать в будущем более трети представленного рынка.

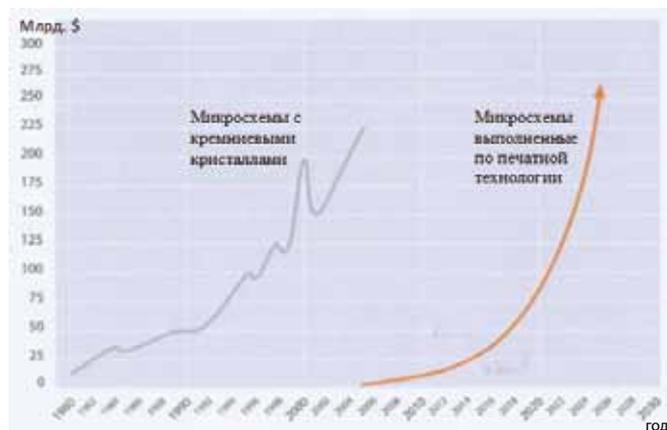


Рис. 1 Тенденции развития радиоэлектронного рынка микросхем, изготовленных по печатной технологии, и микросхем на кремниевых кристаллах. Источник: Motorola

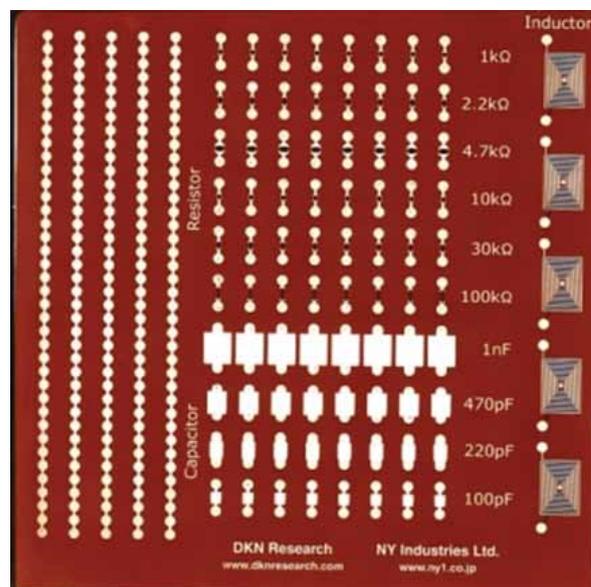


Рис. 2 Различные типы пассивных элементов, выполненных по печатной технологии

Таблица 1 Вклад печатной электроники в общий рынок в 2009-2029 годах (млрд \$). Источник: IDTechEx

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2029
Логика / память	0,01	0,01	0,03	0,06	0,12	0,30	0,88	1,62	2,73	4,75	7,44	105,60
OLED дисплеи	0,00	0,01	0,03	0,14	0,42	1,20	2,34	3,64	5,70	8,28	11,55	66,50
OLED светодиоды	0,00	0,00	0,10	0,03	0,10	0,22	0,37	0,64	0,87	1,36	2,00	20,00
Электрофоретические	0,08	0,11	0,16	0,40	0,68	1,00	1,40	2,00	3,00	4,00	5,00	14,00
Электрохромные	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
Электролюминесцентные	0,06	0,06	0,07	0,08	0,11	0,18	0,26	0,30	0,30	0,30	0,30	0,50
Прочие дисплеи	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,12	0,23	0,35	0,43	0,60	1,50
Батареи	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08	0,11	0,22	0,36	0,47	0,60	3,50
Фотовольтаика	0,00	0,00	0,01	0,04	0,30	0,69	1,26	2,85	5,65	8,36	11,70	59,50
Сенсоры	0,09	0,10	0,13	0,17	0,22	0,31	0,45	0,82	1,01	1,21	1,43	5,88
Проводники (чернила)	0,40	0,42	0,44	0,48	0,65	0,90	1,00	1,20	1,40	1,60	2,00	4,00
Прочее	0,01	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08	0,09	0,11	0,14	0,17	0,23	6,00
Итого (печатные)	0,66	0,76	1,04	1,51	2,78	5,07	8,35	13,73	21,71	31,23	43,25	287,48
Итого (печатные и непечатные)	1,92	2,46	3,64	6,25	9,53	14,06	19,27	25,09	33,86	44,44	57,16	335,00

ПАССИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Любая схема, реализованная и по «классической», и по печатной технологии, содержит различные элементы. Это может быть и обвязка микросхемы, входные/выходные фильтры, защита по питанию, разнообразные цепи и схемы с различным назначением. И все эти схемы состоят в основном из простых пассивных элементов – резисторов, конденсаторов, индуктивностей. Многие из них могут быть реализованы по печатным технологиям. Пример такой реализации приведен на рис. 2.

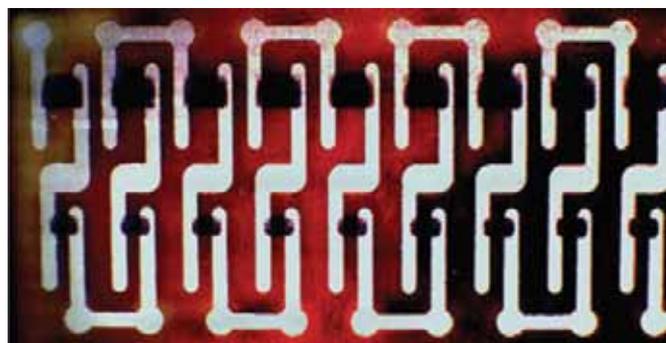


Рис. 3 Резисторы из проводящего полимерного материала, напечатанные по струйной технологии (полученное поверхностное удельное сопротивление < 200 Ом / □ на длине ~ 1 мм)

Выполнить резистор с помощью печатных технологий – одна из самых простых задач: для этого требуется сформировать проводящую дорожку заданной длины, толщины и ширины. Причем для формирования резисторов не обязательно использовать специальный тип чернил, можно применять тот, которым печатался токопроводящий рисунок. Варьируя параметры сушки, можно получить различные значения удельного сопротивления на заданном участке цепи. На рис. 3 приведен пример формирования резисторов между токопроводящими дорожками. Резисторы напечатаны чернилами другого типа, нежели основного рисунка.

На рис. 4 приведена зависимость величины сопротивления резисторов от следующих параметров нанесения:

- количества резистивных слоев;
- типов чернил (изменение процента растворителя в составе чернил);

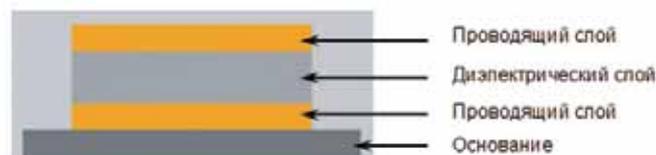


Рис. 5 Схема формирования печатного конденсатора

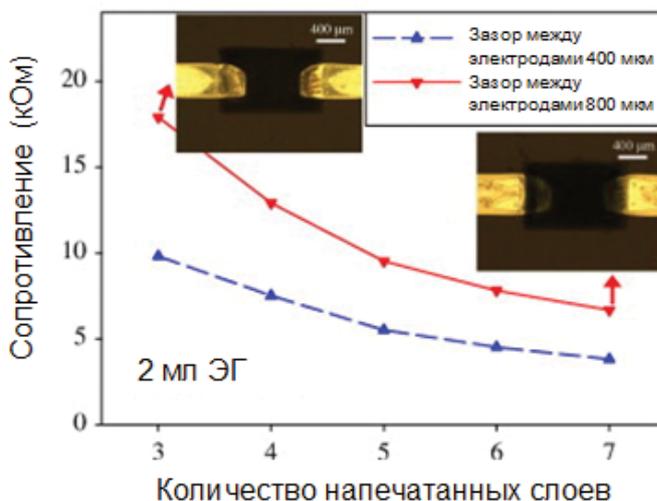
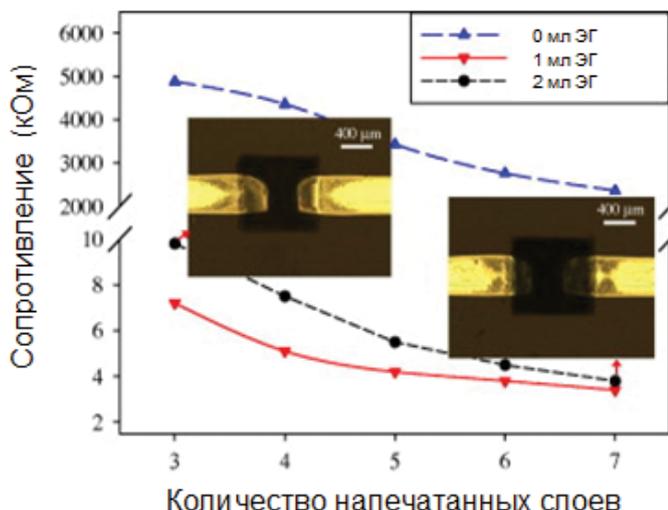


Рис. 4 Изменение величины сопротивления резисторов в зависимости от параметров нанесения (ЭГ – этиленгликоль)

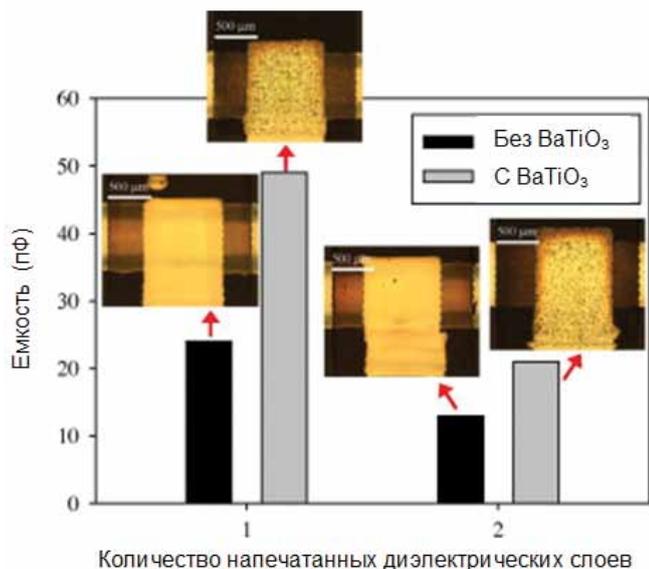


Рис. 6 Эффект от добавления титаната бария в материал диэлектрического слоя

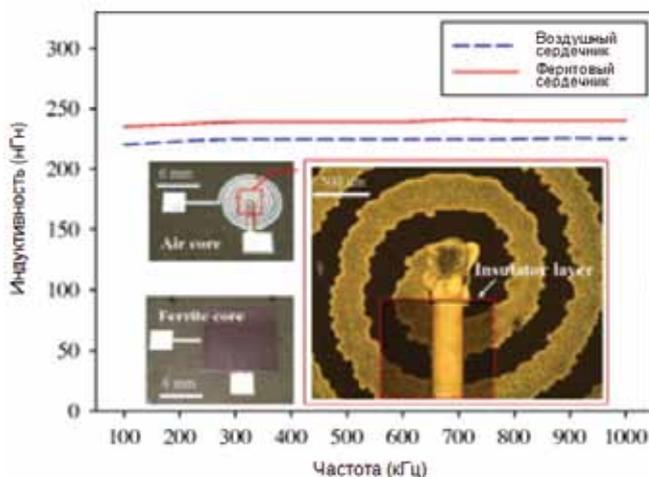


Рис. 7 Печатная индуктивность с воздушным и ферритовым сердечником (Air core – воздушный сердечник, Ferrite core – ферритовый сердечник, Insulator layer – диэлектрический слой)

- зазора между электродами.

Сложнее изготовить конденсатор. Для этого требуется наносить не только токопроводящие, но и диэлектрические чернила. Схема конденсатора, выполненного на гибком основании, приведена на рис. 5. Печать проводится в следующем порядке:

- печать нижней обкладки (токопроводящей площадки);
- печать диэлектрической прокладки (слоя);
- печать верхней обкладки.

При формировании печатного конденсатора (как и в «классическом» конденсаторе) многое зависит от типа применяемого диэлектрического материала. На рис. 6 приведены зависимости ёмкости печатного конденсатора при добавке в диэлектрический материал титаната бария (BaTiO₃).

Слои конденсатора (диэлектрический, проводящий) в большинстве случаев имеют прямоугольную форму, поэтому выполнить их по печатной технологии достаточно несложная задача. При изготовлении индуктивностей порой требуется спиралевидная структура, сформировать которую равномерно – трудоемко. На правой части рис. 7 приведено увеличенное изображение спиральной индуктивности, отчетливо видны неравномерности проводника и капли проводящих чернил, выступающие за основную границу проводника. Процесс изготовления делится на следующие этапы:

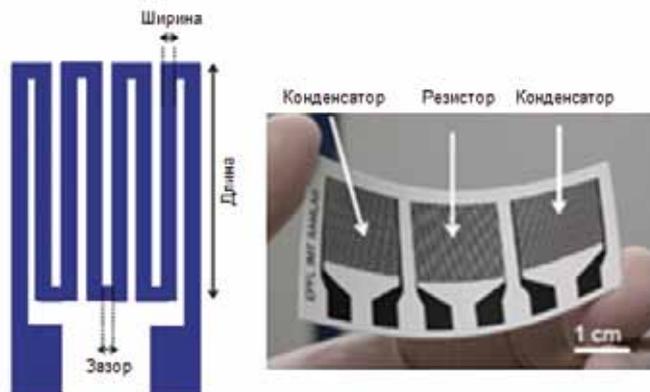


Рис. 8 Датчик температуры (со структурой типа меандр). Источник: IMT-SAMLAB

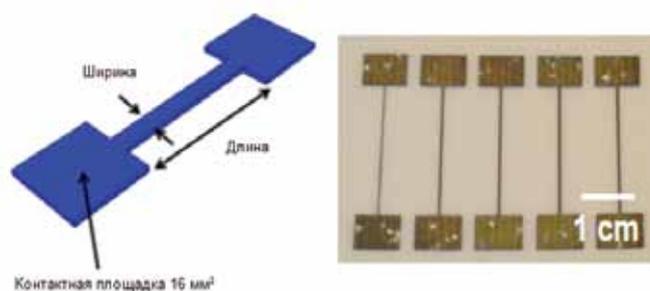


Рис. 9 Датчик температуры. Источник: IMT-SAMLAB

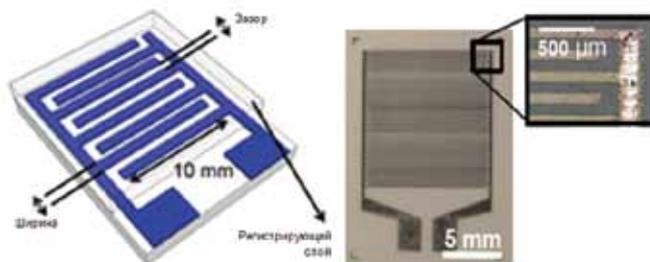


Рис. 10 Датчик-анализатор газа. Источник: IMT-SAMLAB

- печать основной спирали с одной из контактных площадок и печать второй контактной площадки, не соединенной со спиралью (или соединенной со спиралью и находящейся в её центре);
- печать диэлектрического слоя, изолирующего напечатанные проводники от формируемой в дальнейшем электрической схемы;
- разварка проволокой между центральной точкой спирали и второй контактной площадкой (для приведенной иллюстрации). Этот контакт можно также выполнить с помощью печатной технологии, нанося токопроводящие чернила между площадками поверх диэлектрического слоя.

В конце процесса можно варьировать величину индуктивности полученного элемента с помощью последнего слоя, выполненного разными типами материалов. На рис. 7 показана зависимость индуктивности от типа сердечника (последнего слоя).

СЕНСОРЫ И ДАТЧИКИ

Более сложным классом изделий, выполненных по печатной технологии, следует считать сенсоры и датчики. Примером могут служить датчики температуры и газов.

На рис. 8 приведен пример реализации датчика температуры – резистивной структуры на бумажном основании.



Рис. 11 Контактный сенсор. Источник: Network of Excellence Robotic & Mechatronics

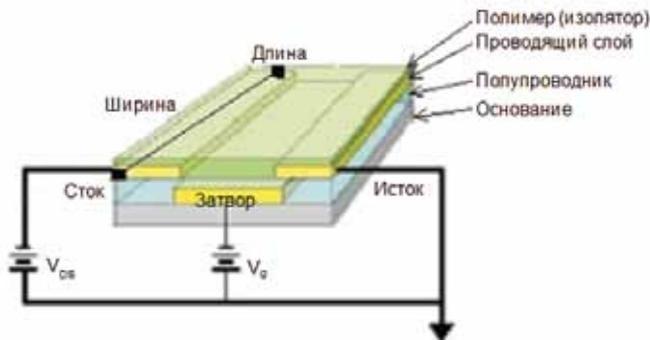


Рис. 12 Структура печатного транзистора

Выполненная резистивная структура имеет следующие параметры:

- зазор между дорожками 200 мкм;
- ширина токопроводящих дорожек 200 мкм;
- длина одной цепи 16 мм;
- удельное сопротивление 30 мОм • см;
- среднее сопротивление при 25°C 1 кОм.

Ёмкостная структура имеет следующие параметры:

- зазор между дорожками 200 мкм;
- ширина токопроводящих дорожек 200 мкм;
- средняя емкость 20 пФ.

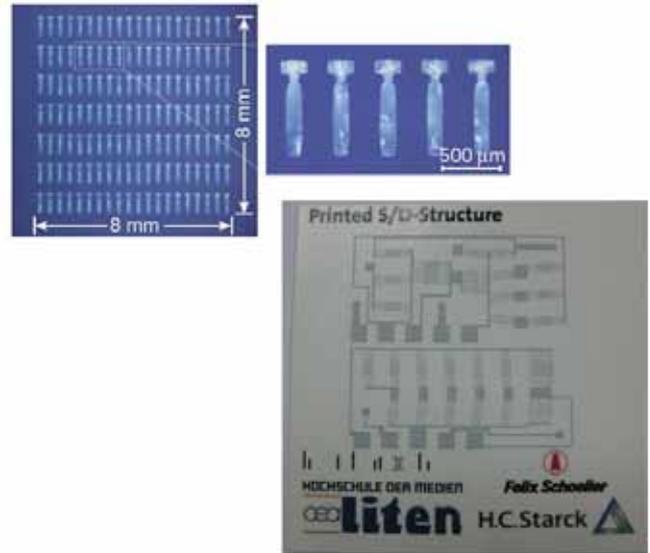


Рис. 14 Пример реализации транзисторов по печатной технологии

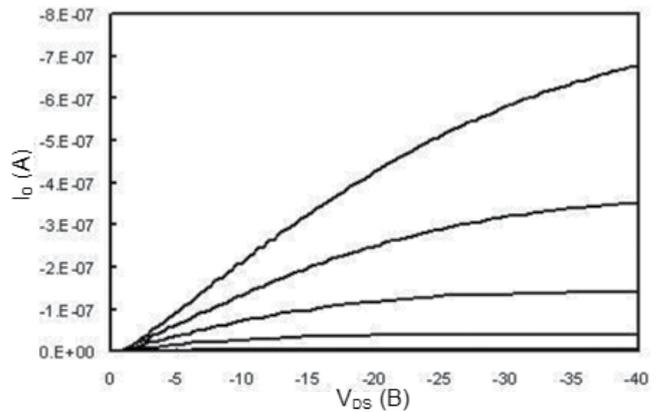


Рис. 15 Типовая вольт-амперная характеристика печатных транзисторов

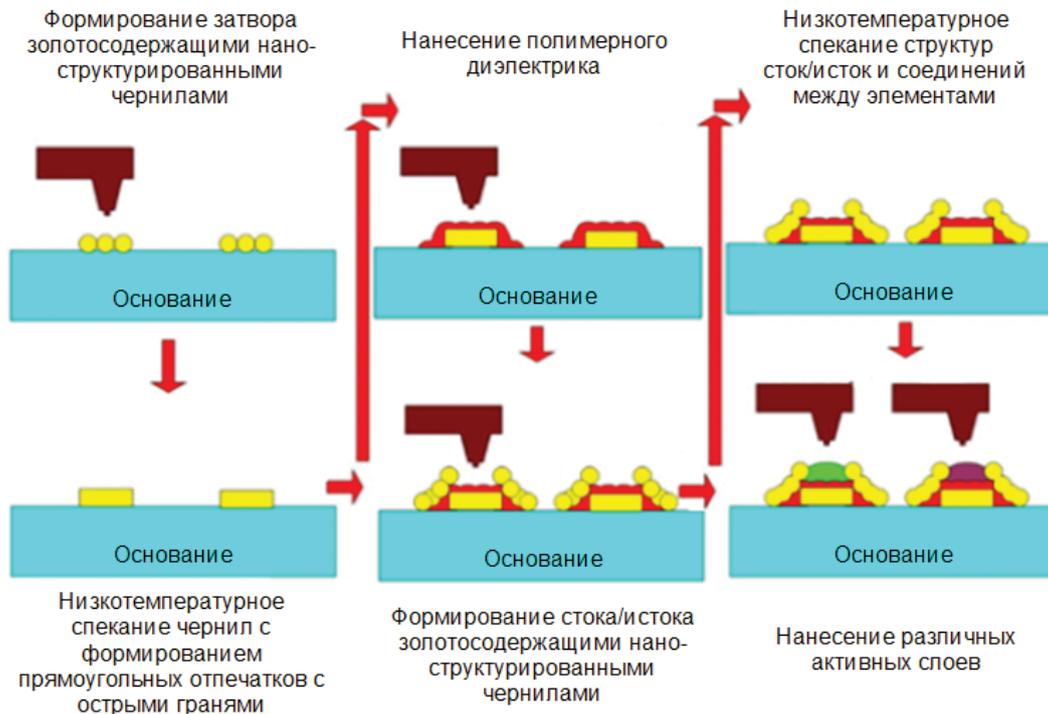


Рис. 13 Технологический процесс формирования полупроводниковой структуры методом струйной печати

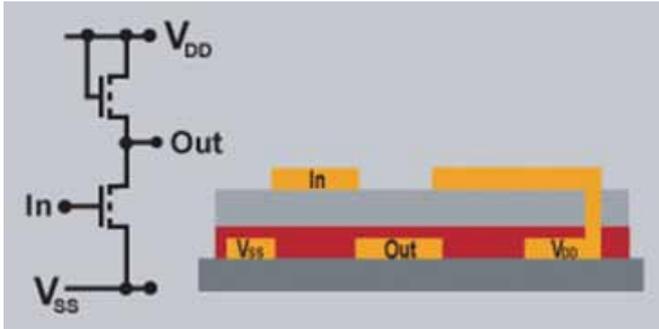


Рис. 16 Пример реализации полимерного инвертора по печатной технологии

Такой датчик будет дешевым, малым по размерам и весу. Такими же преимуществами будут обладать описанные ниже датчики.

Другой вариант исполнения температурного датчика приведен на рис. 9. На нём реализованы следующие характеристики:

- ширина токопроводящих дорожек 1 мм;
- длина 25 мм;
- удельное сопротивление 7 мОм • см;
- среднее сопротивление при 25°C 30 Ом.

На рис. 10 представлен датчик-анализатор газа, обладающий следующими характеристиками:

- зазор между дорожками 200 мкм;
- ширина токопроводящих дорожек 100 мкм;
- толщина слоя печатных Ag-чернил 700 нм;
- средняя емкость 9 пФ.

Также могут быть реализованы сенсоры. Пример контактного сенсора приведен на рис. 11. Выполнить такой сенсор можно на одном диэлектрическом основании, которое после будет сложено два раза. В результате между двумя слоями материалов, нанесенных струйным или другим методом, окажется прокладка.

Все эти изделия созданы с применением печатных технологий. Благодаря относительной простоте реализации и невысоким требованиям к параметрам самих изделий есть вероятность, что печатная технология займет большой процент рынка в области проектирования и изготовления датчиков и сенсоров.

АКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Одним из наиболее распространенных активных элементов является транзистор. Структура такого компонента, реализуемого с применением печатных технологий, показана на рис. 12.

Технологический процесс изготовления полупроводниковой структуры на примере струйной печати приведен на рис. 13.

В результате были получены полупроводниковые транзисторные элементы (рис. 14). Данные элементы обладают типичными вольт-амперными характеристиками для печатных транзисторов (полностью реализованных по печатной технологии), они приведены на рис. 15.

С помощью печатных технологий могут быть получены не только транзисторы, но и другие полупроводниковые структуры. Например, на рис. 16 представлена электрическая схема и схема реализации инвертора.

Все описанные выше элементы могут применяться и отдельно, но в

большинстве случаев они необходимы для реализации более сложных схем. На рис. 17, 18 показаны две иллюстрации использования печатных технологий для производства конечных изделий. На рис. 17 изображен цифровой индикатор, использующий электрохромные чернила для индикации цифровых значений. Напряжение подается на структуру с этими чернилами через печатные цепи с пассивными и активными элементами. На рис. 18 приведена иллюстрация пассивной радиочастотной метки (RFID). Можно увидеть целый ряд пассивных и активных элементов, выполненных из различных соединений магния.

Сроки изготовления таких изделий оказываются в разы меньше времени, уходящего на процесс по «классической» технологии. Нет необходимости изготавливать ПП со схемой, отдельно закупать ЭРИ, проводить пайку и монтаж со всеми сопутствующими процедурами. Например, технология Roll-to-roll позволяет изготовить RFID за один цикл на одной установке.

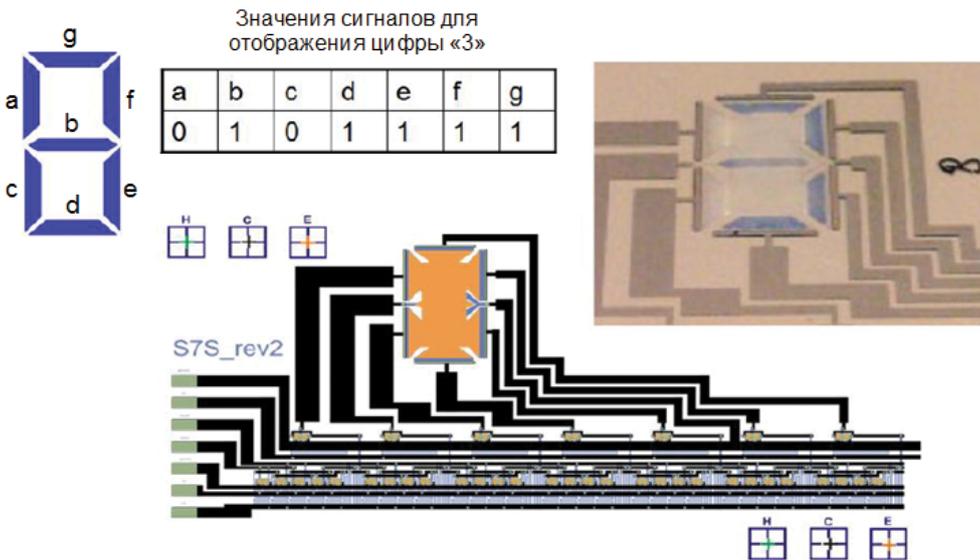


Рис. 17 Цифровой индикатор, выполненный по печатной технологии

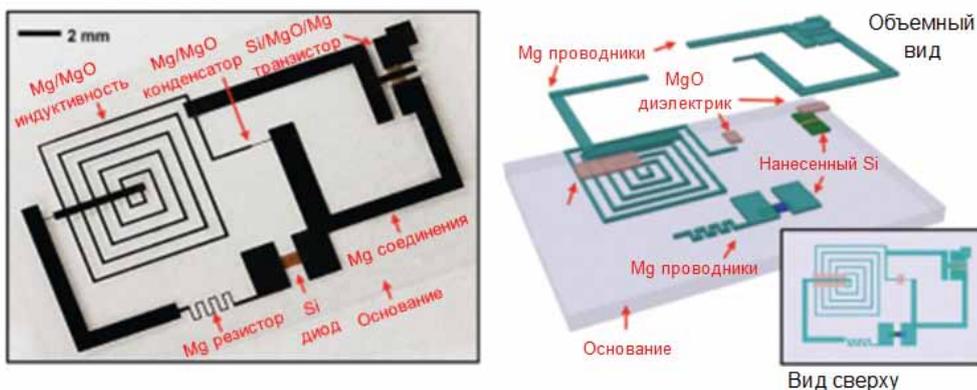


Рис. 18 Пассивная RFID метка

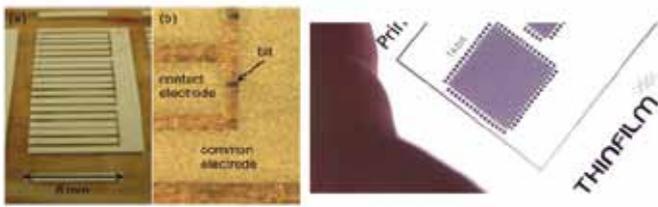


Рис. 19 Память, выполненная печатным методом (Contact electrode – сигнальный проводник, common electrode – общий проводник)

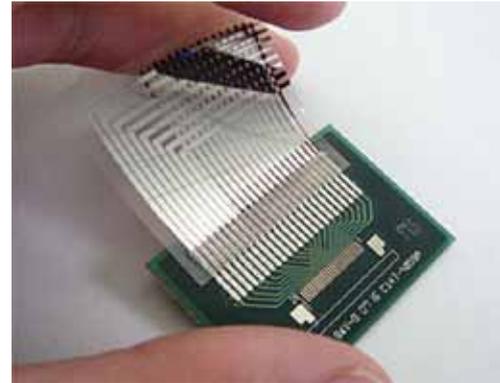


Рис. 22 Гибкая флэш-память

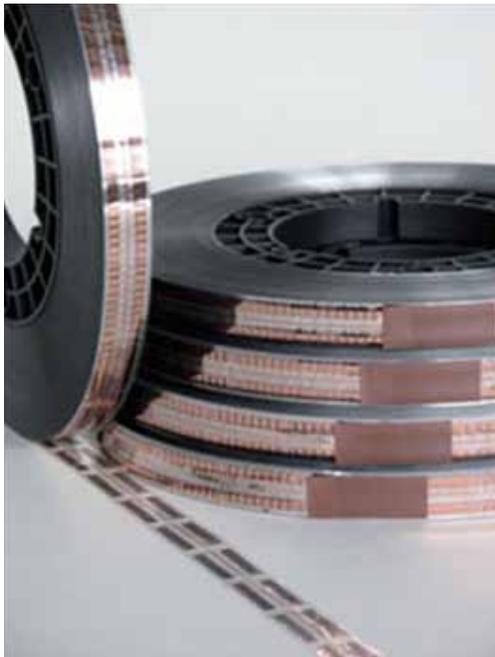


Рис. 20 Печатная память объемом 20 бит, поставляемая в качестве готовых элементов

ПАМЯТЬ

Отдельной строкой в перечне полупроводниковых структур и изделий, выполненных по печатной технологии, стоит выделить полупроводниковую память. В цикле статей по печатной электронике уже упоминалась ячейка памяти, выполненная таким методом. Как и все прочие печатные элементы, память имеет прародителя, выполненного по «классической» технологии – кремниевый кристалл со сформированной топологией. Конечно, емкость «классической» памяти на текущий момент в разы превосходит объемы печатной памяти. Но ведутся исследовательские работы и прогресс налицо: от 1 бита в начале, до 1 Кбита на текущий момент (рис. 19). При этом память небольшого объема (20 бит) на гибких основаниях выпускается серийно уже сегодня. На рис. 20 показаны катушки, на которые намотаны ленты не с компонентами, а с печатной памятью. Такая память может использоваться в различных изделиях и перспективы её применения,

по оценке Ассоциации Органической и Печатной Электроники (OE-A), достаточно разнообразны и широки (рис. 21). Уже сегодня представлен прототип флэш-карты, где память выполнена не на кремниевом кристалле, а на гибкой пленке полиэтиленнафталата площадью 6 см. Такую схему можно гнуть и крутить, ей не страшны механические нагрузки. Как и обычному носителю для хранения информации, ему не требуются источники питания (рис. 22).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день печатные технологии уже позволяют реализовать ЭРИ и схемы малой сложности. Использование данных технологий дает возможность выпускать не только конечные изделия, но и проводить прототипирование и отработку на любом этапе изготовления. Сроки изготовления печатных изделий получаются в разы меньше «классических» методов. При текущих тенденциях развития печатной технологии в обозримом будущем появятся оборудование, материалы и достаточно несложные технологические процессы формирования схем и элементов любых уровней сложности. И внедрить эту технологию будет возможно на любом производстве без существенных затрат. ■■

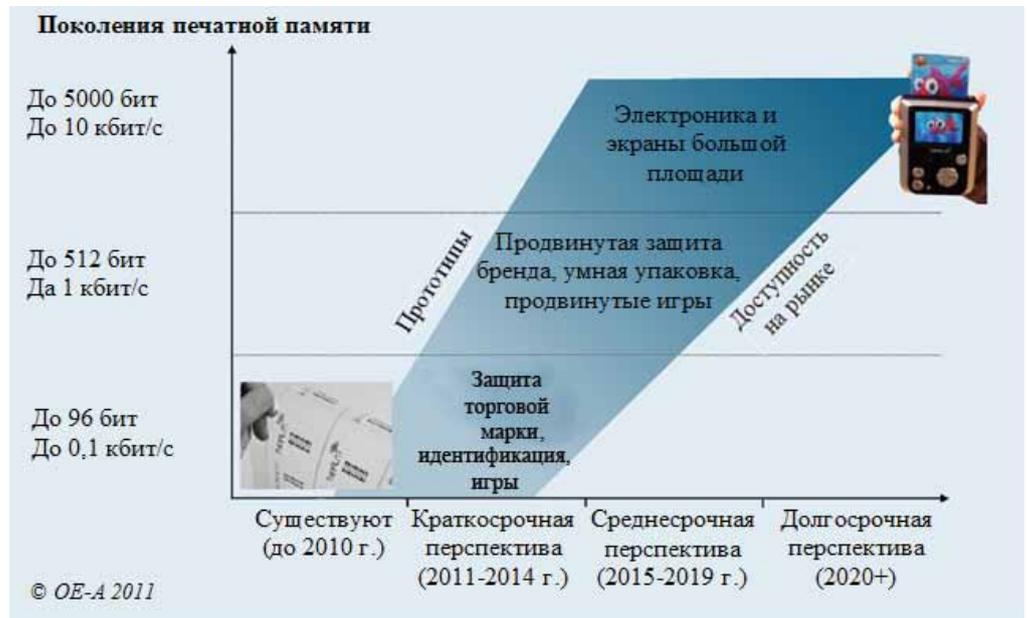


Рис. 21 Перспективы развития печатной памяти. Источник: OE-A