

# ПРОТОТИП ИЗДЕЛИЯ ЗА ПОЛЧАСА – ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ПЕЧАТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Н.Павлов, к.т.н. edu@ostec-group.ru

При изготовлении изделий электроники очень часто возникает ситуация, когда схема разработана, сдана рабочая конструкторская документация, а запуск в производство задерживается из-за ожидания печатной платы или ЭКБ. Надо сказать, что простой, связанный не с отсутствием сложной микросхемы, а с дефицитом резисторов, которых не оказалось на складе, в наше время совсем неприемлем. Разрабатываемые схемы становятся все сложнее, а степень специализации отдельных элементов все выше. И здесь активно развивающиеся технологии печатной электроники позволят в скором будущем не только сократить сроки прототипирования изделий электроники, но и изготовить схему и элементы любых уровней сложности. Посмотрим, что можно сделать уже сегодня с помощью печатных технологий.

Известно, что технологии печатной электроники применяются при изготовлении радиочастотных (RFID)-меток [1], печатных батареек [2], электрических схем и полупроводниковых структур [3]. Большинство этих изделий имеют в своем составе простые элементы (резисторы, конденсаторы, индуктивности) и более сложные полупроводниковые приборы; все элементы выполнены по печатным технологиям. Рассмотрим эти технологии и оценим перспективы их развития и применения.

Печатные элементы по сравнению с "классическими" имеют как преимущества, так и недостатки. Однако перспективы дальнейшего развития, например, микросхем памяти (рис.1), выполненных печатным методом, стали мощным стимулом проведения исследований и работ по данному направлению.

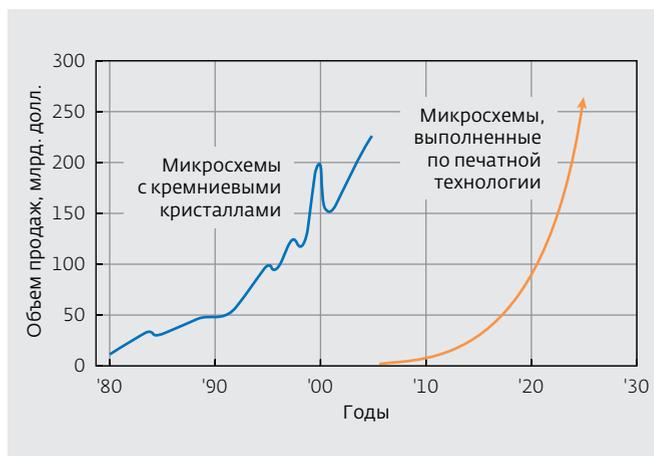


Рис.1. Тенденции развития радиоэлектронного рынка микросхем, изготовленных по печатной технологии, и микросхем на кремниевых кристаллах (источник ф. Motorola)

Вклад печатной электроники в общий рынок электронной продукции в 2009–2029 годах, млрд. долл. (источник ф. 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

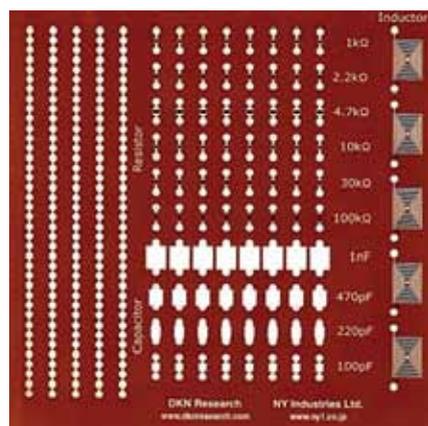
Оценка перспектив развития рынка печатной электроники дает такие цифры: к 2029 году доля пассивных и активных элементов, а также проводников составит 120 млрд. долл. (см. таблицу). Иными словами, печатные элементы, как простые пассивные, так и сложные (логика/память), будут занимать в будущем более трети рынка.

### ПАССИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

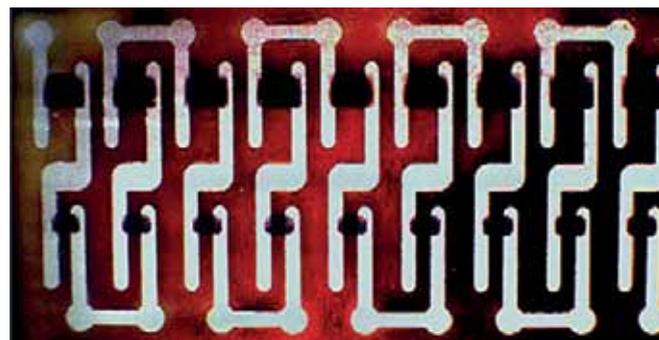
Любая схема, реализованная как по "классической", так и по печатной технологии, содержит

различные элементы: обвязку микросхемы, входные/выходные фильтры, защиту по питанию, цепи разного назначения. И все эти схемы состоят в основном из простых пассивных элементов – резисторов, конденсаторов, индуктивностей. Многие из них реализуются по печатным технологиям (рис.2).

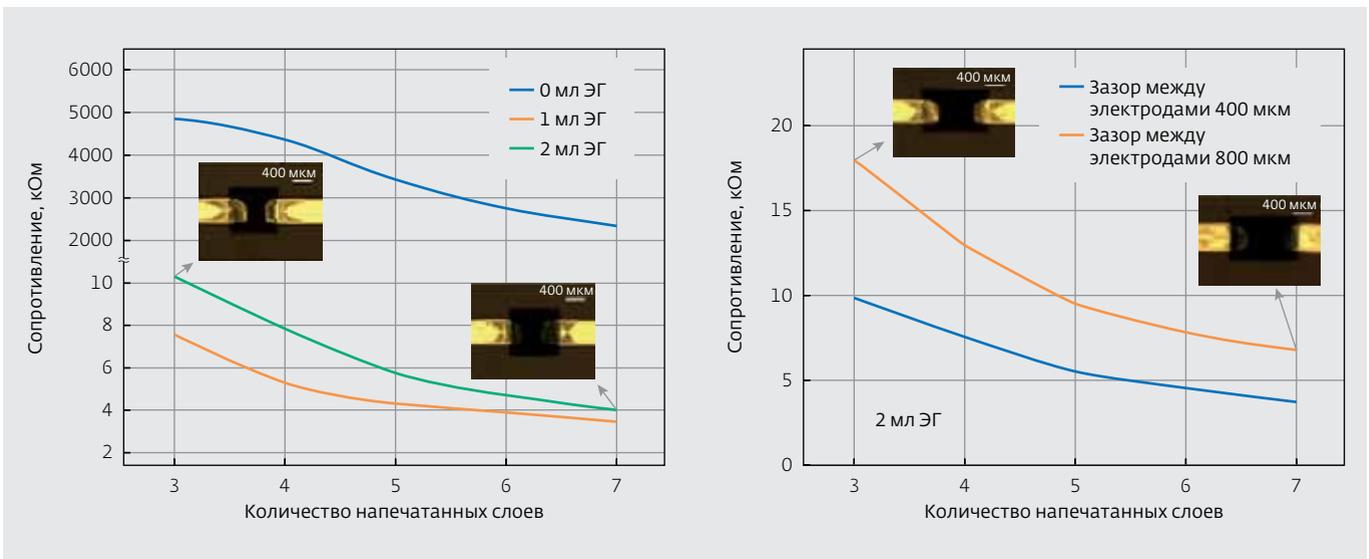
Выполнить резистор с помощью печатных технологий – одна из самых простых задач. Для этого требуется сформировать проводящую



**Рис.2.** Различные типы пассивных элементов, выполненных по печатным технологиям



**Рис.3.** Резисторы из проводящего полимерного материала, напечатанного по струйной технологии

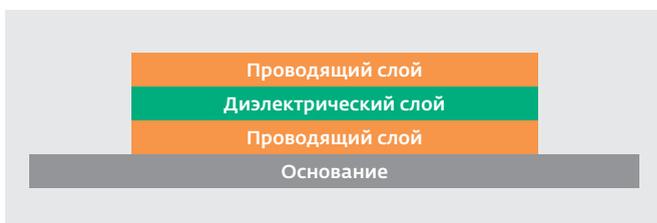


**Рис.4.** Изменение величины сопротивления резисторов в зависимости от параметров нанесения. ЭГ – этиленгликоль

дорожку заданной длины, толщины и ширины. Причем для изготовления резисторов не обязательно использовать специальный тип чернил, можно применять тот, которым печатался токопроводящий рисунок. Варьируя параметры сушки, можно получить требуемые значения удельного сопротивления на заданном участке цепи. Пример формирования резисторов (поверхностное удельное сопротивление меньше 200 Ом/□ на длине ~1мм) между токопроводящими дорожками приведен на рис.3. Резисторы напечатаны чернилами другого типа, нежели основной рисунок. Сопротивление резисторов зависит от следующих параметров (рис.4):

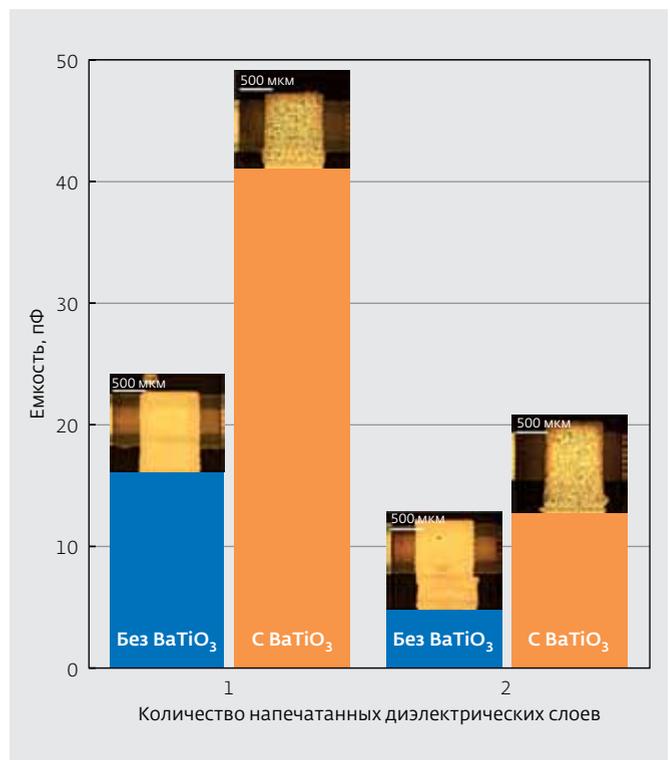
- количества резистивных слоев;
- типа чернил (изменения процента растворителя (этиленгликоля) в их составе);
- зазора между электродами.

Сложнее изготовить конденсатор: для этого требуются не только токопроводящие, но и диэлектрические чернила. Печать конденсатора



**Рис.5.** Схема формирования печатного конденсатора

на гибком основании проводится в следующем порядке (рис.5): печать нижней обкладки (токопроводящей площадки), затем диэлектрической прокладки (слоя) и верхней обкладки конденсатора.



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

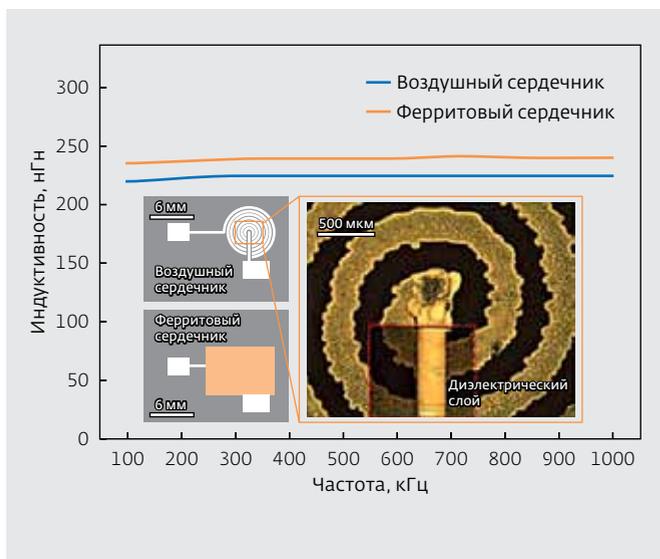


Рис.7. Печатная индуктивность с воздушным и ферритовым сердечником

Параметры печатного конденсатора (как и "классического") зависят от типа применяемого диэлектрического материала. В качестве примера можно привести изменение емкости печатного конденсатора (рис.6) при добавлении в диэлектрический материал титаната бария ( $BaTiO_3$ ).

Слои конденсатора (диэлектрический, проводящий) в большинстве случаев имеют прямоугольную форму, поэтому выполнить их по печатной технологии – несложная задача. При изготовлении индуктивностей порой требуется спиралевидная структура, сформировать которую равномерно – задача трудоемкая. На увеличенном изображении спиральной индуктивности (рис.7, правая часть) отчетливо видны неравномерности проводника и капли проводящих чернил, выступающие за границу проводника. Процесс состоит из следующих операций:

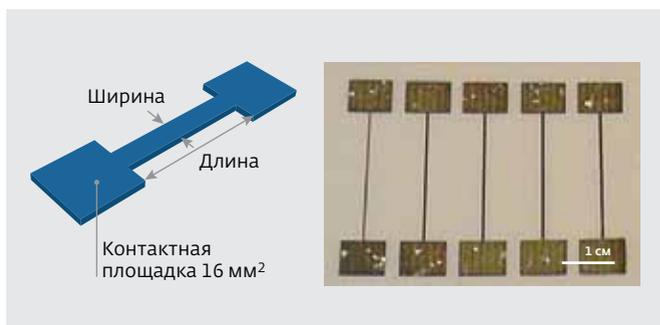


Рис.9. Датчик температуры (источник ф. IMT-SAMLAB)

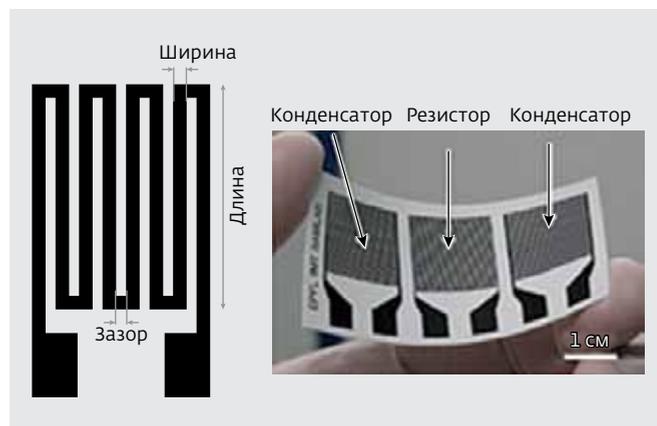


Рис.8. Датчик температуры со структурой типа меандр (источник ф. IMT-SAMLAB)

- печать основной спирали с одной из контактных площадок и печать второй контактной площадки, не соединенной со спиралью (или соединенной со спиралью и находящейся в ее центре);
- печать диэлектрического слоя, изолирующего напечатанные проводники от формируемой в дальнейшем электрической схемы;

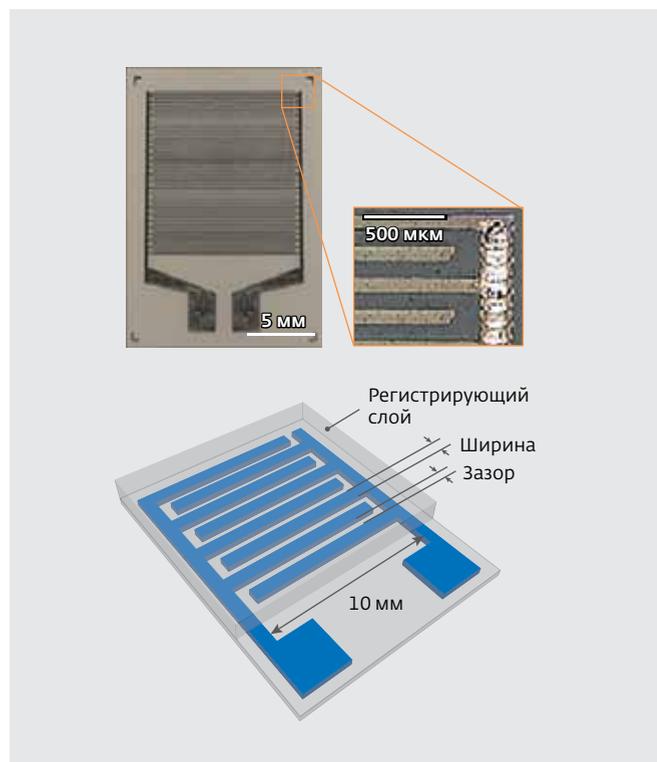


Рис.10. Датчик-анализатор газа (источник ф. IMT-SAMLAB)



**Рис.11.** Контактный сенсор (источник ф. Network of Excellence Robotic & Mechatronics)

- разварка проволоки между центральной точкой спирали и второй контактной площадкой (см. рис.7). Этот контакт можно также выполнить с помощью печатной технологии, нанося токопроводящие чернила между площадками поверх диэлектрического слоя.

Величину индуктивности элемента можно варьировать в конце процесса, выполняя последний слой (сердечник) из разных материалов (см. рис.7).

**СЕНСОРЫ И ДАТЧИКИ**

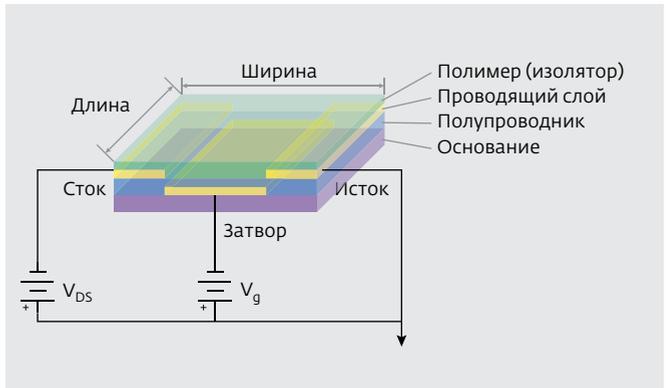
Более сложным классом изделий, выполняемых по печатной технологии, считаются сенсоры и датчики, например, датчики температуры и газов фирмы IMT-SAMLAV.

Датчик температуры (резистивная структура на бумажном основании) (рис.8) 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 1 кОм при 25°C.

Параметры емкостной структуры датчика (см. рис.8): зазор между дорожками 200 мкм; ширина токопроводящих дорожек 200 мкм; средняя емкость 20 пФ.

Такой датчик так же, как и приведенные ниже, отличается малыми стоимостью, размерами и массой.

Другой вариант исполнения датчика температуры показан на рис.9, его характеристики:



**Рис.12.** Структура печатного транзистора

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

Датчик-анализатор газа со структурой, изображенной на рис.10, имеет:

- зазор между дорожками 200 мкм;
- ширину токопроводящих дорожек 100 мкм;
- толщину слоя печатных Ag-чернил 700 нм;
- среднюю емкость 9 пФ.

По печатной технологии могут быть изготовлены и сенсоры. Например, контактный сенсор (рис.11) выполняется на одном диэлектрическом основании, которое затем складывается два раза.



**Рис.13.** Технологический процесс формирования полупроводниковой структуры методом струйной печати



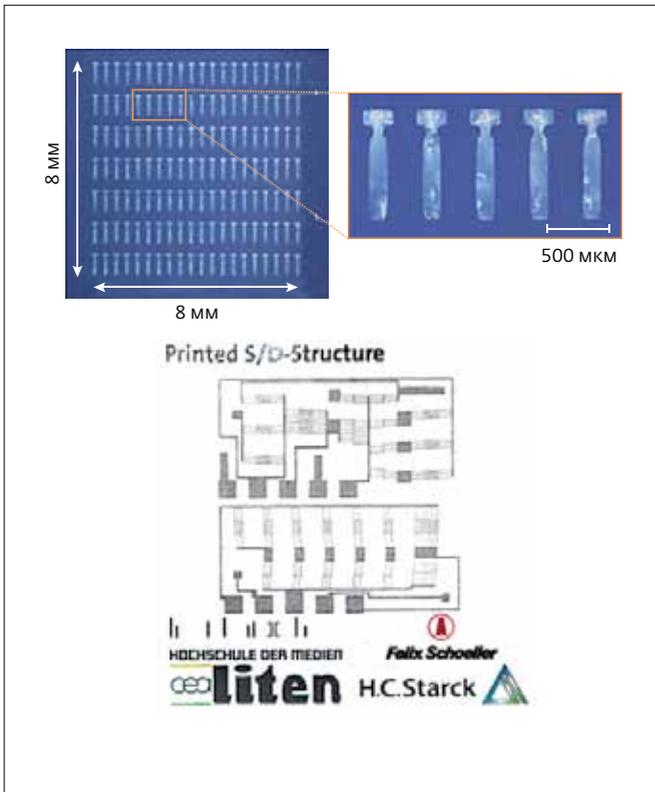


Рис.14. Пример реализации транзисторов по печатной технологии

В результате между двумя слоями материалов, нанесенных струйным или другим методом, окажется прокладка.

Благодаря относительной простоте реализации изделий с применением печатных технологий и невысоким требованиям к параметрам самих изделий есть вероятность того, что печатные технологии займут в будущем большую нишу

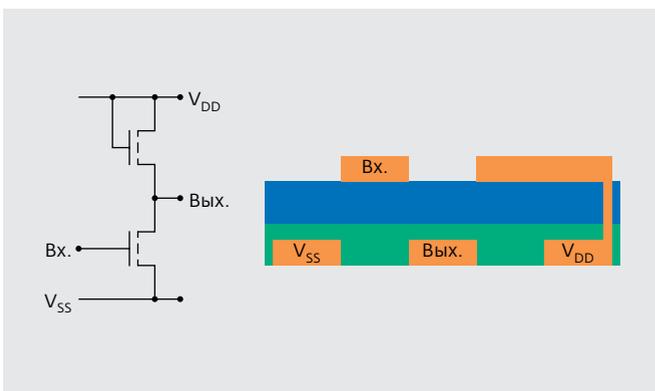


Рис.16. Пример реализации полимерного инвертора по печатной технологии

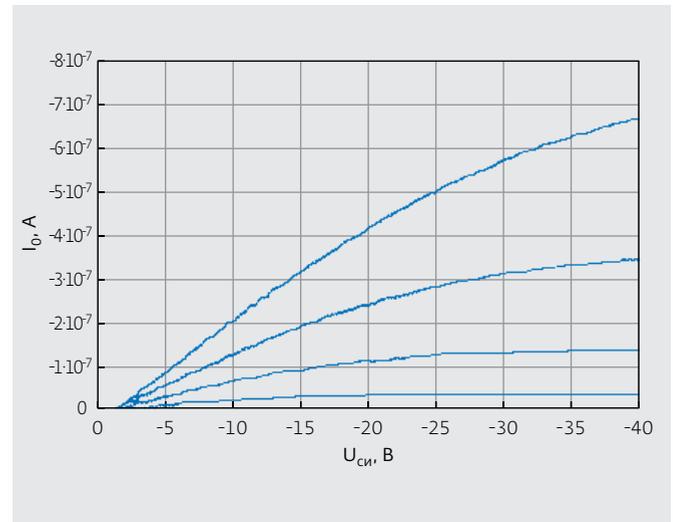


Рис.15. Типовая вольт-амперная характеристика печатных транзисторов

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, приведена на рис.12, а технологический процесс изготовления полупроводниковой структуры методом струйной печати – на рис.13. Полученные полупроводниковые транзисторные элементы (рис.14) имели типичные для печатных транзисторов вольт-амперные характеристики (рис. 15).

С помощью печатных технологий могут быть получены не только транзисторы, но и другие

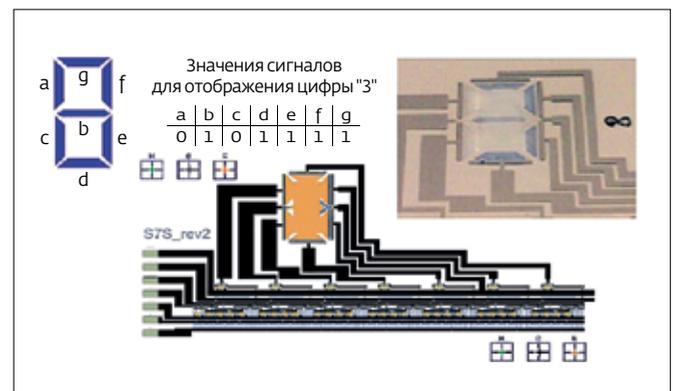


Рис.17. Цифровой индикатор, выполненный по печатной технологии

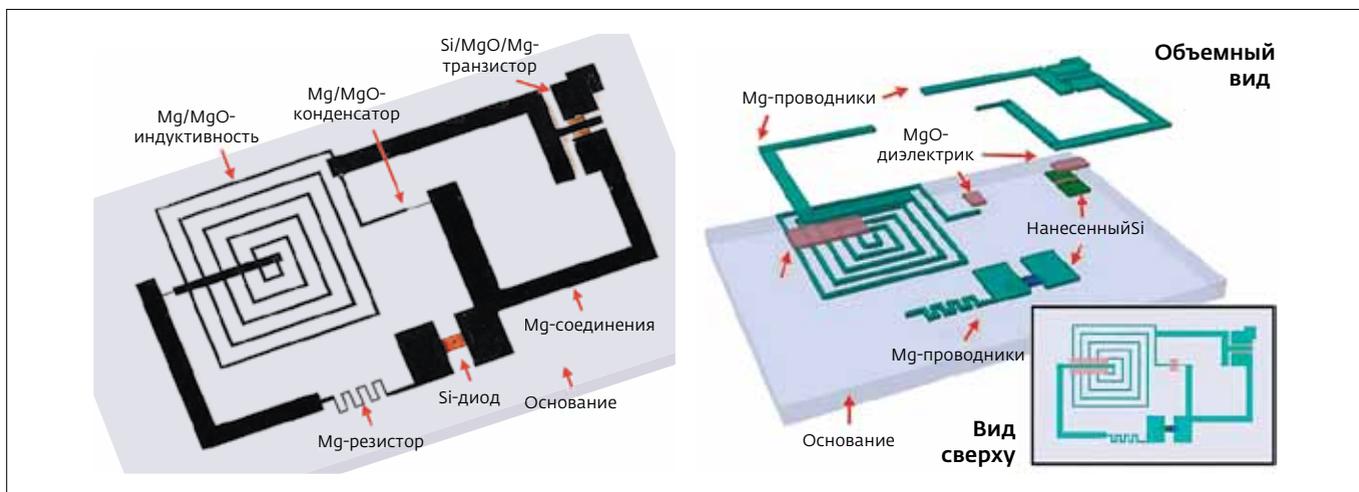


Рис.18. Пассивная RFID-метка

полупроводниковые структуры, например, печатный инвертор (рис.16).

Все приведенные выше элементы могут применяться отдельно, но в большинстве случаев они необходимы для построения более сложных схем. Например, в цифровом индикаторе (рис.17) с электрохромными чернилами напряжение на структуру подается через печатные цепи с пассивными и активными элементами. А в составе пассивной RFID-метки можно увидеть ряд пассивных и активных элементов, выполненных из различных соединений магния (рис.18).

Благодаря методам печатной электроники сроки изготовления изделий уменьшаются в разы по сравнению с "классической" технологией, так как нет необходимости изготавливать печатную плату со схемой, отдельно закупать ЭРИ, проводить пайку и монтаж со всеми сопутствующими процедурами. Например, технология Roll-to-roll позволяет сформировать RFID за один цикл на одной установке.

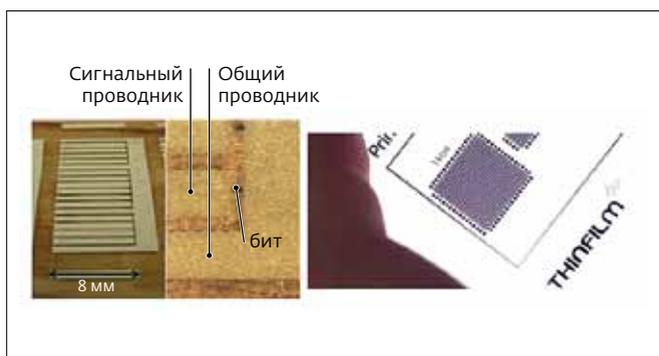
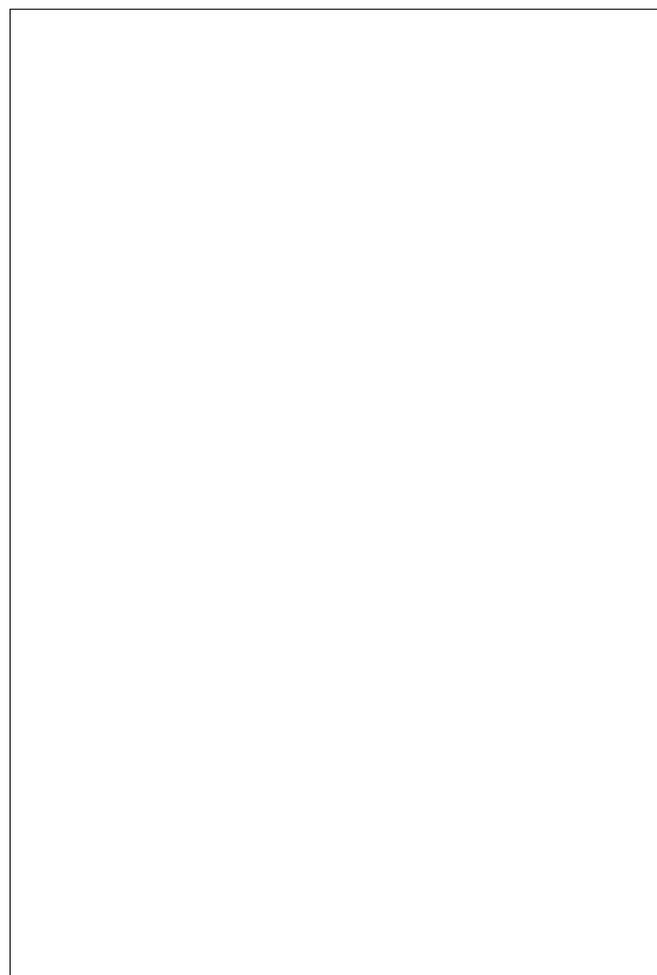


Рис.19. Память, выполненная печатным методом

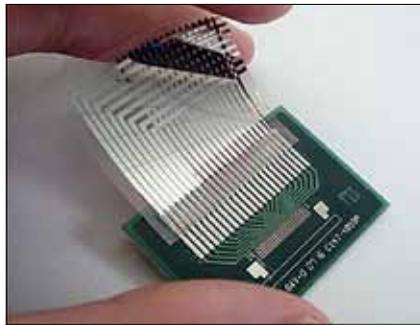
### ПАМЯТЬ

В перечне полупроводниковых структур и изделий, выполняемых по печатной технологии, отдельно надо выделить полупроводниковую





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



**Рис.22.** Гибкая флеш-память

память. В литературе уже упоминалась ячейка памяти, полученная таким способом. Как и все прочие печатные элементы, память имеет прародителя – "классический" кремниевый кристалл со сформированной топологией. Конечно, емкость "классической" памяти сегодня в разы превосходит объемы печатной памяти. Но ведутся исследовательские работы и прогресс налицо: объем печатной памяти достиг 1 Кбита (а вначале был 1 бит) (рис.19). При этом память небольшого объема (20 бит) на гибких основаниях выпускается серийно (рис.20). Она может использоваться в различных изделиях и перспективы ее применения, по оценке Ассоциации органической

и печатной электроники (ОЕ-А), достаточно широки (рис.21).

Уже сегодня представлен прототип флеш-карты, где память выполнена не на кремниевом кристалле, а на гибкой пленке полиэтиленнафталата площадью 6 см. Такую схему можно сгибать и крутить, ей не страшны механические нагрузки. Как и обычному носителю для хранения информации этому прототипу не требуются источники питания (рис.22).

\*\*\*

Сегодня печатные технологии позволяют реализовать ЭРИ и схемы малой сложности, они применяются при изготовлении конечных изделий, прототипов и отработке технологии на любом этапе. По сравнению с "классическими" методами время выпуска готовых изделий уменьшается в разы. Существующие тенденции развития печатной технологии дают основания полагать, что в ближайшем будущем появятся оборудование, материалы

и достаточно несложные технологические процессы формирования схем и элементов любых уровней сложности. И внедрить эту технологию можно будет на любом производстве без существенных затрат.



**Рис.21.** Перспективы развития печатной памяти (источник ф. ОЕ-А)

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Павлов Н.** Как изменится наше будущее с технологиями печатных RFID. – Поверхностный монтаж, 2012, №5 (97).
2. **Нисан А.** Гибкие печатные батарейки и аккумуляторы. – Поверхностный монтаж, 2012, №4 (96).
3. **Нисан А.** Дорожная карта органических и печатных компонентов. – Поверхностный монтаж, 2012, №2 (94).

