

АЭРОЗОЛЬНАЯ ПЕЧАТЬ: ТЕХНОЛОГИЯ И ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ

А. Нисан, С. Бонапартов mid@ostec-group.ru

Сегодня активно развивается технология аэрозольной печати – метод аддитивного производства элементов и межсоединений, при котором мельчайшие капельки материала наносятся аэродинамически-сфокусированной струей на трехмерное основание селективно, без использования масок. Преимущества технологии аэрозольной печати по сравнению с другими методами печати и фотолитографией заключаются в большей свободе конструирования изделий, гибкости производства, отсутствии затрат на оснастку (трафареты, фотошаблоны), меньшем неблагоприятном воздействии на окружающую среду. Каков принцип работы аэрозольной печати и для каких целей она применяется?

ТЕХНОЛОГИЯ

Рассмотрим технологию получения и нанесения аэрозоля. Наносимый материал (чернила) заправляется в генератор аэрозоля, причем в зависимости от чернил может использоваться пневматический или ультразвуковой генератор. Для заправки ультразвукового генератора достаточно небольшого объема чернил, поэтому он может применяться для нанесения дорогостоящих материалов, например, золота, но при его использовании следует учитывать ряд ограничений: диапазон вязкости чернил (0,7–30 мПа·с) и максимальный диаметр твердых частиц (не более 50 нм) [1]. Пневматический генератор (рис.1) позволяет наносить материалы с широким диапазоном вязкости (от 1 до 1000 мПа·с) и с диаметром твердых частиц на порядок выше (до 500 нм), но для его заправки требуется большее количество чернил.

Для образования аэрозоля в пневматический генератор под давлением подается газ (азот или воздух). Повышение давления заставляет чернила

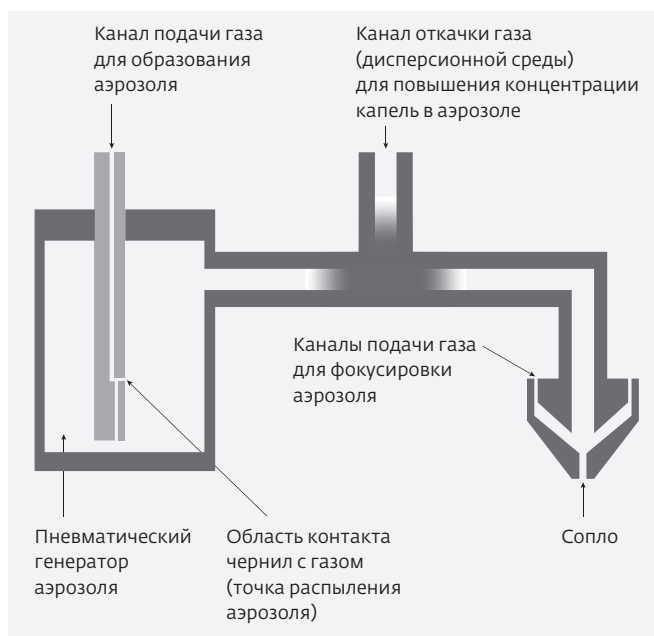


Рис.1. Упрощенная схема модуля образования и нанесения аэрозоля установки печати

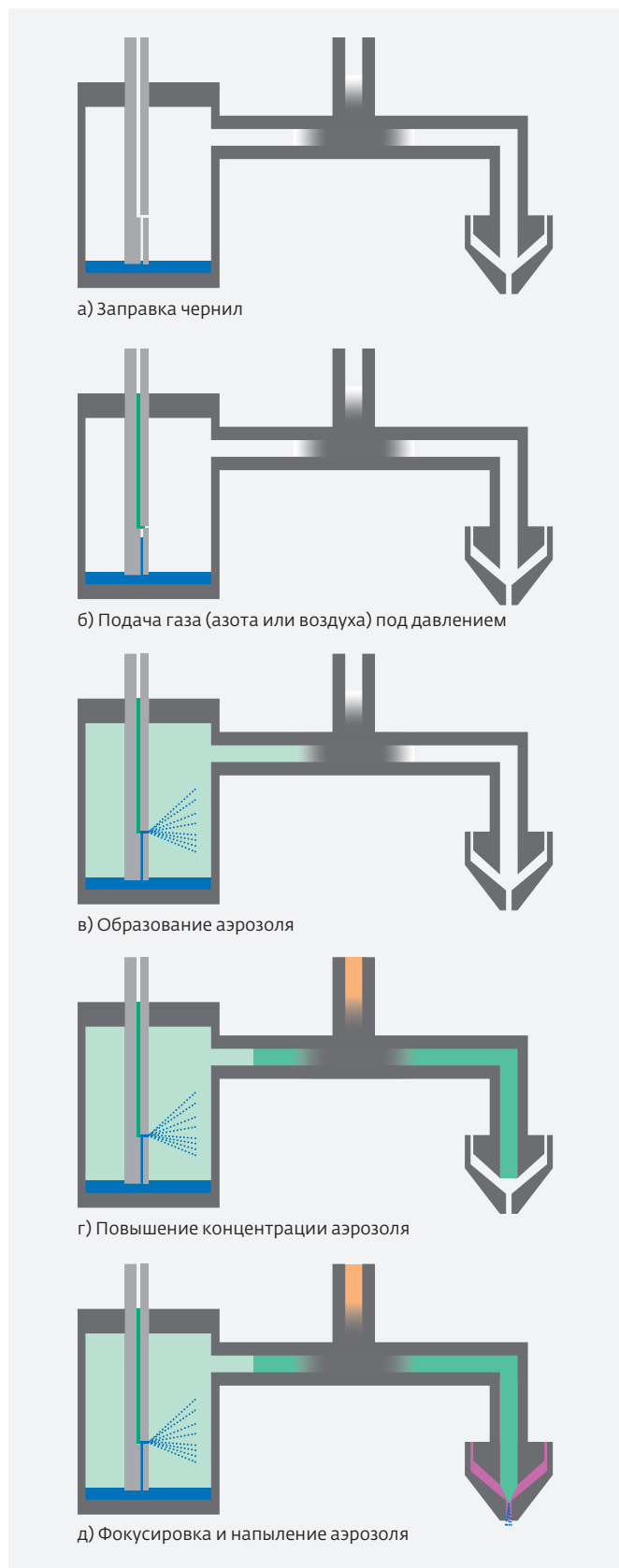


Рис.2. Схема процесса формирования и нанесения аэрозоля

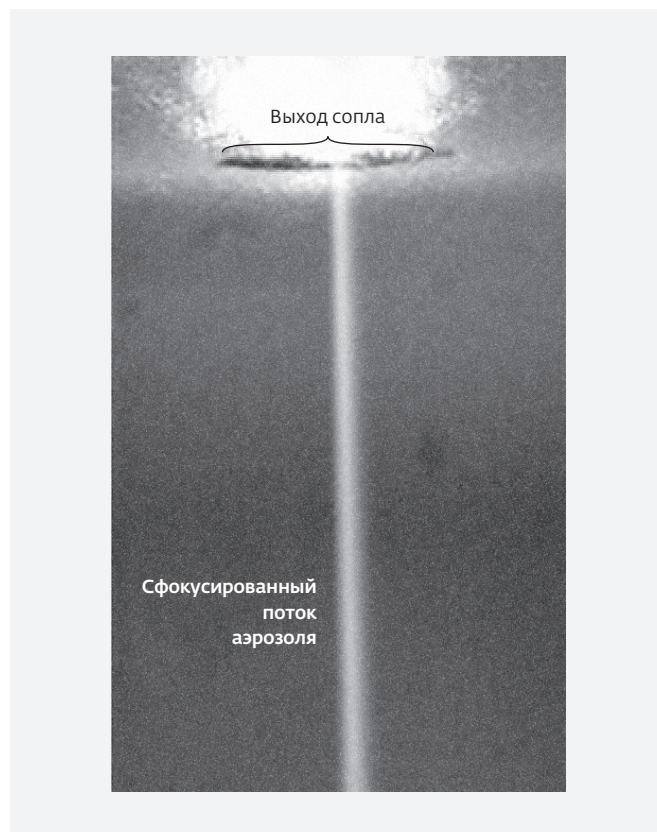


Рис.3. Снимок потока аэрозоля из сопла (диаметр потока 15 мкм)

подниматься по каналу (рис.2б) [2], а при контакте газа с чернилами образуется аэрозоль (рис.2в). На выходе из генератора диаметр каплей чернил в аэрозоле составляет 1–5 мкм, капли большего размера под действием силы тяжести осаждаются. Затем повышается концентрация каплей чернил в аэрозоле: на коротком участке пути аэрозоля поддерживается пониженное давление, и по инерции капли чернил минуют этот участок, но часть газа откачивается (рис.2г). На выходе из сопла аэрозоль фокусируется "обволакивающим" (sheath) газом (рис.2д, 3) [2, 3].

Благодаря наличию газа между струей аэрозоля и соплом риск засорения минимальный. Струя аэрозоля остается сфокусированной на расстоянии вплоть до 5–15 мм от сопла*, что позволяет наносить чернила на трехмерные основания. Технически это может быть реализовано путем перемещения печатающей головки по трем осям (x, y, z) и наклоном основания по двум осям. После

* В зависимости от материала и режима его нанесения. Как правило, при аэрозольной печати зазор между соплом и основанием составляет 2–5 мм.

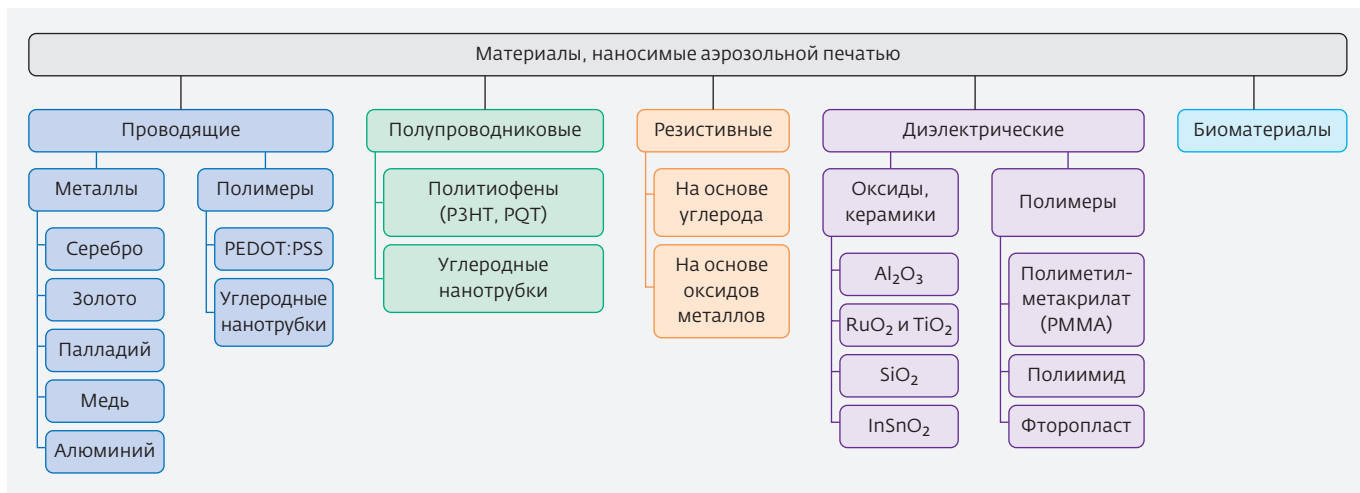


Рис.4. Классификация материалов, наносимых по технологии аэрозольной печати

нанесения чернил производится УФ, ИК или термическая сушка в зависимости от материалов чернил и основания.

Методом аэрозольной печати можно наносить различные материалы (рис.4) [4]. Для некоторых материалов приходится активировать поверхность основания, например, плазменной обработкой.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Технология аэрозольной печати используется в процессе изготовления трехмерных схем на пластике, солнечных батарей (для печати токопроводящих шин), датчиков, электромагнитных экранов, антенн, гибких дисплеев, транзисторов и схем на их основе. Рассмотрим несколько примеров, иллюстрирующих различные варианты применения аэрозольной печати.

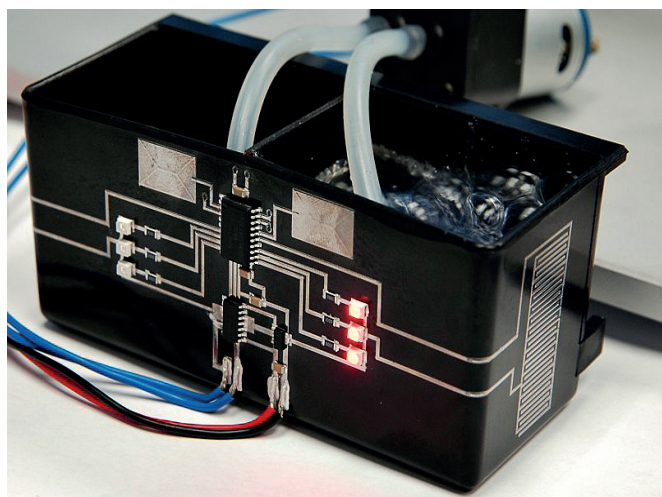


Рис.5. Емкостный датчик уровня жидкости

Датчики

Возможность нанесения материалов на трехмерные основания позволяет использовать технологию аэрозольной печати для формирования датчиков непосредственно на изделиях. Примером служит датчик уровня жидкости (рис.5) [4]. На внешних стенках пластиковой емкости напечатаны проводники и электроды, установлены на токопроводящий клей поверхностно-монтируемые компоненты. Чем выше уровень жидкости, тем больше электрическая емкость, измеряемая между двумя электродами, так как диэлектрическая проницаемость жидкости выше, чем у воздуха.

Другой пример – датчик газа (рис.6). Принцип его работы основан на том, что сопротивление протеина (темно-синие квадраты на рисунке между

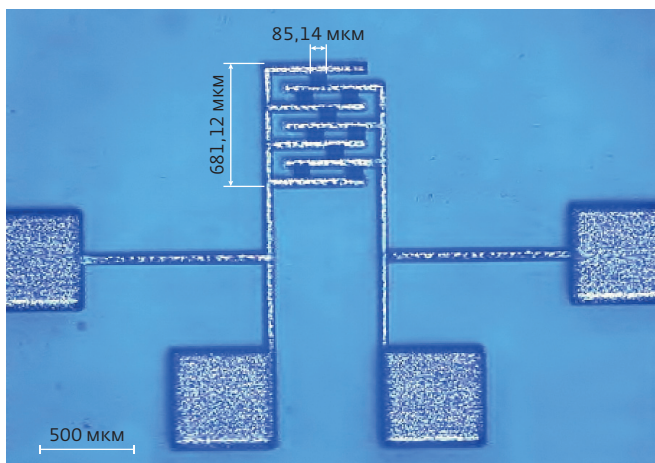


Рис.6. Датчик газа, изготовленный по технологии аэрозольной печати

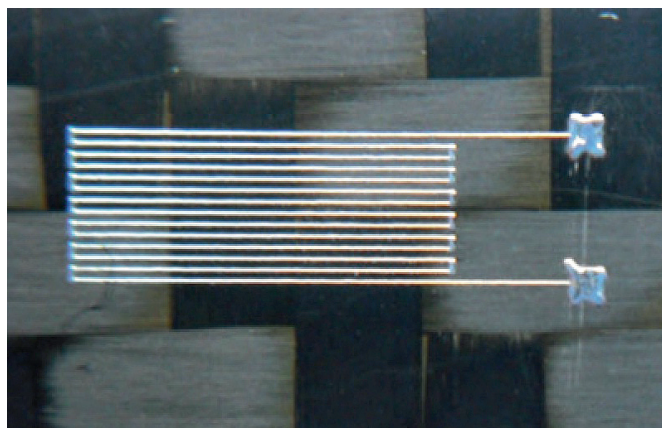


Рис.7. Тензодатчик

"гребенкой") сильно зависит от концентрации определяемого газа.

Еще один пример - тензодатчик, выполненный методом аэрозольной печати Ag-чернилами на углепластиковом основании (рис.7).

Транзисторы и простые схемы

Интересное применение аэрозольной печати - изготовление транзисторов, резисторов, конденсаторов и простых схем на их основе. В полностью печатных транзисторах для формирования стока и истока может наноситься золото, затвора - PEDOT: PSS, полупроводника - политиофен или углеродные нанотрубки. Печатные транзисторы работают при небольшом напряжении (<2 В) и на сравнительно высоких для печатной электроники частотах:

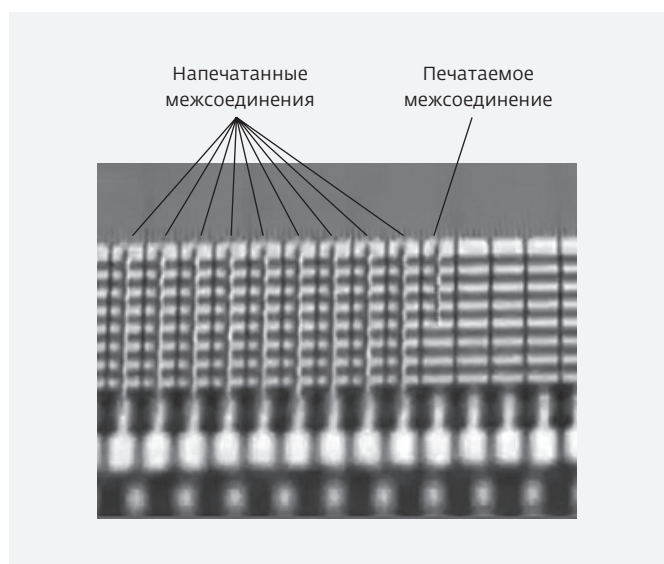


Рис.9. Аэрозольная печать проводников шириной 25 мкм

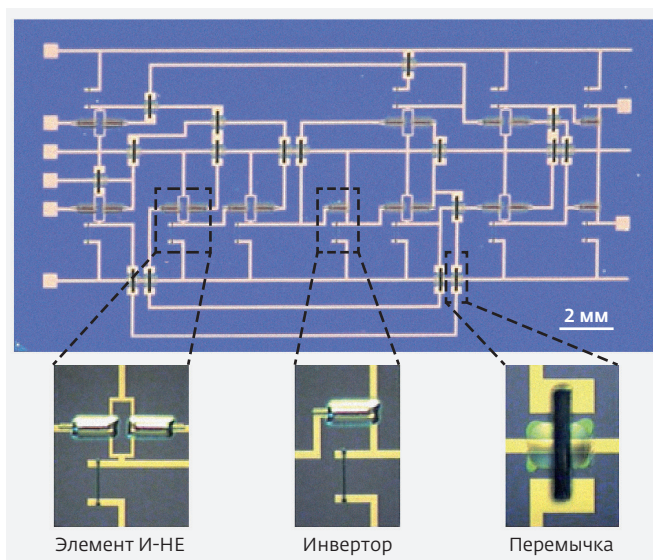


Рис.8. Схема, полностью выполненная по технологии аэрозольной печати

транзисторы на политиофене в диапазоне 1-10 кГц, транзисторы на углеродных нанотрубках - до 5 ГГц. В качестве примера можно привести схему (рис.8), состоящую из элементов И-НЕ (каждый включает в себя два транзистора и один резистор), и инверторов (в состав каждого входит транзистор и резистор).

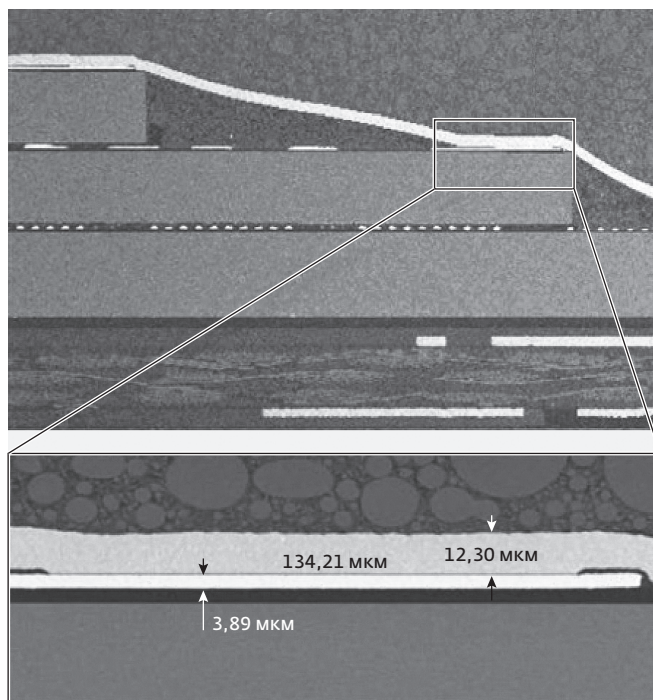


Рис.10. Микрошлиф кристаллов с печатными межсоединениями

Из-за невозможности разводки схемы в одном слое было напечатано несколько перемычек из PEDOT: PSS поверх диэлектрика.

Альтернатива проволочным соединениям

Аэрозольная печать может служить альтернативой проволочным межсоединениям при многоярусном размещении кристаллов (рис.9, 10) [5]. В рассматриваемом примере после монтажа кристаллов на них был нанесен диэлектрик, в котором лазером вскрывались окна над контактными площадками для межсоединений. Затем методом аэрозольной печати были сформированы межсоединения шириной 25 мкм с шагом 50 мкм между восемью кристаллами, расположенными друг над другом. Печатные межсоединения, по сравнению с проволочными, обеспечивают ряд преимуществ: уменьшение шага и длины межсоединений, а также размеров многокристального модуля.

Итак, аэрозольная печать – универсальный метод нанесения широкого спектра функциональных материалов электроники (проводящих, полупроводниковых, диэлектрических, резистивных и др.), позволяющий, в отличие от других методов

печати, изготовить элементы и межсоединения непосредственно на трехмерных основаниях развитой формы, а не только на плоских основаниях. Рассмотренные примеры изделий, изготовленных с использованием аэрозольной печати, подтверждают потенциально широкую область применения технологии и показывают основные направления ее внедрения в инженерную практику.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Verheecke W., Van Dyck M., Vogeler F.** et al. Optimizing aerosol jet printing of silver interconnects on polyimide film for embedded electronics applications. – 8th International DAAAM Baltic Conference "INDUSTRIAL ENGINEERING" 19-21 April 2012, Tallinn, Estonia, p. 373-379.
2. www.youtube.com/watch?v=phyGNdj9iOI.
3. **Hedges M., Marin A.** 3D Aerosol Jet Printing – Adding Electronics Functionality to RP/RM – Originally presented at DDMC 2012 Conference, 14-15.3.12, Berlin.
4. **Hedges M.** 3D Printed Electronics via Aerosol Jet Printing. – Generative Fertigungsverfahren in der Elektronik 13/14. März 2013, Fraunhofer IZM.
5. www.youtube.com/watch?v=0u2sKiBYV_I.

НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Цена 475 руб.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОТЕРМОУПРУГИХ МОДЕЛЕЙ

М.В.Богущ

Работа посвящена проектированию пьезоэлектрических датчиков с использованием современных методов математического моделирования. Описаны критерии, алгоритмы и процедуры для рационального и целенаправленного выбора конструкции датчика, материалов и размеров деталей с помощью универсальных относительно геометрии изделия и способов приложения нагрузки численных пространственных электротермоупругих моделей. Это позволяет улучшить технические характеристики пьезоэлектрических датчиков за счет обоснованного выбора компромисса между информативностью и надежностью изделия в предполагаемых условиях эксплуатации.

Эффективность предложенных методов подтверждается разработкой серии пьезоэлектрических датчиков с уникальными свойствами, нашедших широкое применение в вихревых и ультразвуковых расходомерах жидкости, газа и пара для систем промышленной автоматизации, нашедших широкое применение в промышленности.

Предназначена для специалистов, занимающихся проектированием и применением пьезоэлектрических преобразователей и датчиков в измерительных и управляющих системах, а также аспирантов и студентов технических вузов.

М.: Техносфера, 2014. – 312 с.
+ 12 с. цв. вкл.
ISBN 978-5-94836-371-4

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ (495) 234-0110; 📠 (495) 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru

Нельзя обмануть законы физики.

Но их можно обойти.

Если вы занимаетесь разработкой памяти DDR, наверняка вы сталкиваетесь с требованиями сокращения сроков реализации проектов, снижения энергопотребления, уменьшения размеров, уплотнения компоновки, усложнением доступа к точкам подключения. Мы поможем справиться с этими задачами. Keysight – единственный производитель контрольно-измерительного оборудования и программного обеспечения, используемого на всех стадиях разработки микросхем DDR. Наши решения охватывают все этапы разработки: от моделирования до измерения параметров прототипа, отладку, верификацию и тестирование на соответствие стандартам.

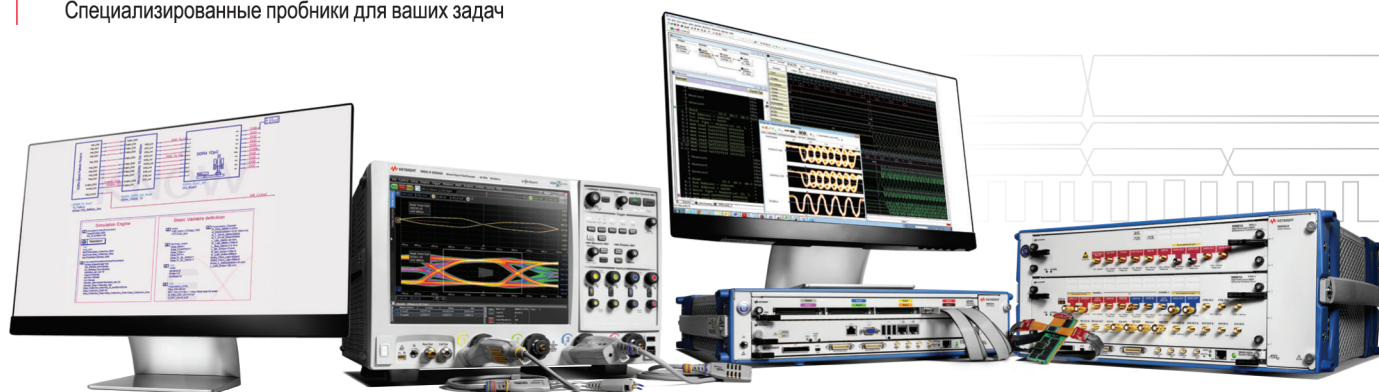
HARDWARE + SOFTWARE + PEOPLE = DDR INSIGHTS

Программные решения – от моделирования до тестирования на соответствие стандартам

Лабораторные и модульные приборы

Полный набор высокоскоростных пробников с высокой плотностью компоновки

Специализированные пробники для ваших задач



САПР Keysight ADS W2211BP
Модуль САПР ADS W2351EP на соответствие стандарту DDR4

Осциллографы Keysight серии 90000X
ПО на соответствие стандартам и декодеры протоколов для DDR 2/3/4 и LPDDR 2/3/4

Модуль логического анализатора Keysight U4154B для DDR 2/3/4 и LPDDR 2/3/4 в шасси M9502A
ПО для декодирования протоколов DDR 2/3/4 и LPDDR 2/3/4 и тестирования на соответствие стандартам

Высокопроизводительный анализатор битовых ошибок J-BERT M8020A

Пробники Keysight - стандартные и специализированные

Закажите DVD-диск с материалами по DDR 2015
www.keysight.com/find/HSD-insight



8 800 500 9286 (Звонок по России бесплатный)

KEYSIGHT
TECHNOLOGIES

Unlocking Measurement Insights