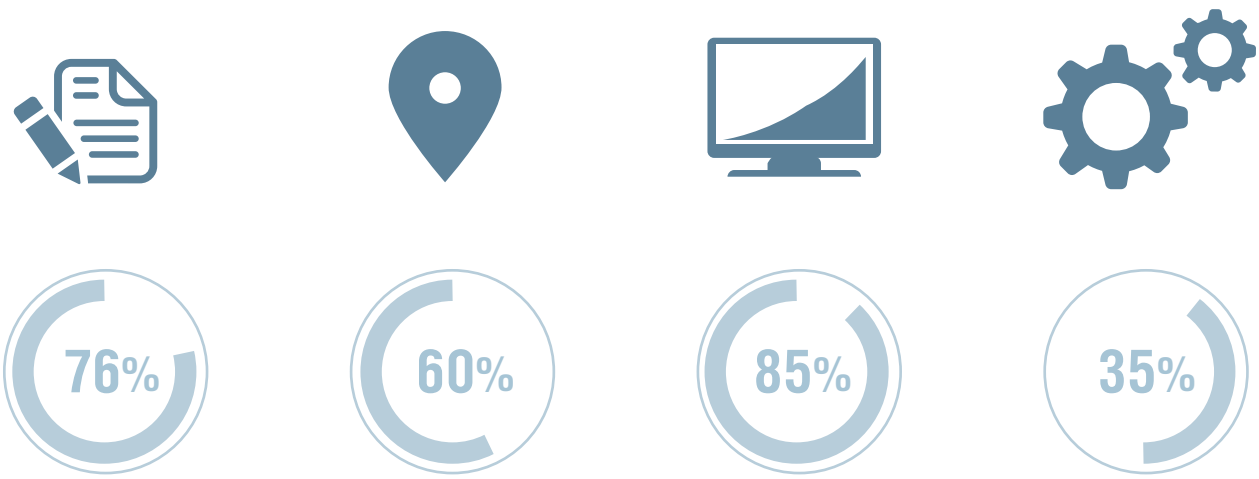
Выпуск 4 (6653) от 1 марта 2018 г.

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ
ПО ЗАРУБЕЖНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКЕ



ISSN 2500-3844

СЕГОДНЯ В ВЫПУСКЕ

2
Компетентное мнение

4
Китайские провинции ищут новые пути финансирования развития микроэлектроники

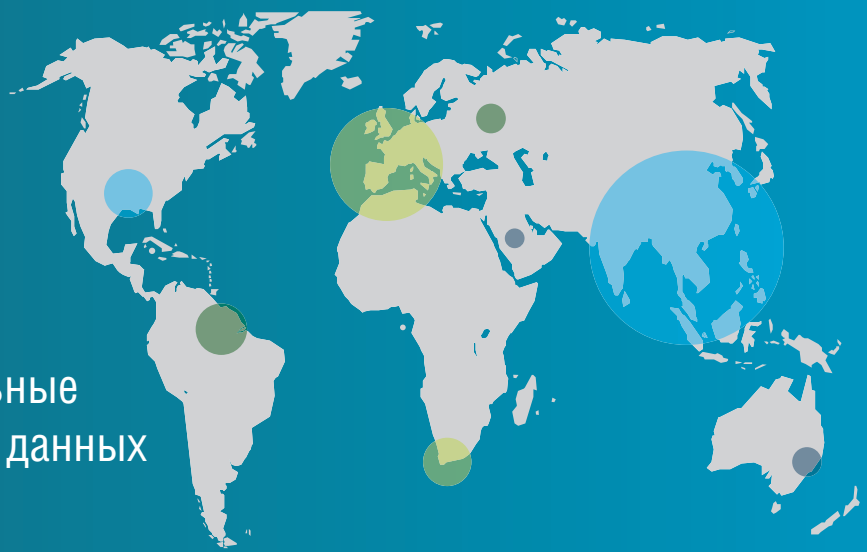
9
Последняя волна сделок слияния и поглощения в микроэлектронике: причины и последствия

14
Развитие технологии электронно-лучевого контроля в микроэлектронике

22
Будущее промышленности – интеллектуальные производства и промышленные технологии

25
Машинное обучение и проектирование ИС

28
Факторы роста рынка микропроцессоров – мобильные SoC и встроенная обработка данных



31
Рентабельность инвестиций и Интернет вещей

34
Автоматизирован процесс проектирования материалов с заданными свойствами

36
Разработан кардиостимулятор с беспроводным питанием

38
Сверхпроводящая система ASG Superconductors защищает электрокоммуникации

40
Глоссарий

Издатель
АО «ЦНИИ «Электроника»

Главный редактор
Алена Фомина, д.э.н., проф.

Заместитель главного редактора
Виктория Французова

Научный референт
Валерий Мартынов, д.т.н., проф.

Выпускающий редактор
Полина Корсунская

Авторы материалов
Михаил Макушин,
Анастасия Хомчик,
Иван Черепанов,
Юлия Яцина

Над выпуском работали
Григорий Арифулин,
Людмила Железнова,
Анастасия Никитина,
Юлия Разгуляева

Реклама
publish@instel.ru
+7 (495) 940-65-24

Адрес редакции
127299, г. Москва,
ул. Космонавта Волкова, д. 12
+7 (495) 940-65-24
www.instel.ru
publish@instel.ru

Экспресс-информация по зарубежной электронной технике издается с 1971 г., в электронной версии – с 2003 г.

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (свидетельство ПИ № 77–13626 от 20 сентября 2002 г.).

КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ

Развитие микроэлектроники в КНР выходит на новый уровень. Центральное правительство все активней привлекает к созданию национальной полупроводниковой промышленности руководство провинций и частных инвесторов. Цель – создание кремниевых заводов китайскими и зарубежными fabless-фирмами при поддержке провинциальных властей. Несколько лет назад правительство городского округа Уси (провинция Цзянсу) построило на свои средства достаточно современный завод и передало его под управление крупнейшего китайского кремниевого завода SMIC, с которым активно работает корпорация Qualcomm, изготавливавшая на мощностях китайского партнера процессоры Snapdragon. Особенность нынешнего подхода – именно формирование группы соинвесторов различного происхождения (и не в последнюю очередь fabless-фирм), а также активные попытки привлечь инвестиции зарубежных производителей электроники, в противовес использованию «раскрученной» китайской фирмы как локомотива.

Вызывает интерес и ориентация новых заводов. Так, предприятие, сооружаемое в г. Гуанчжоу, ориентировано на производство ИС для Интернета вещей, автомобильных сетей и электроники, средств искусственного интеллекта и средств и сетей связи 5-го поколения. Новое предприятие будет выпускать ИС с топологиями от 40 до 28 нм, что должно обеспечить приемлемый уровень рентабельности по достаточно хорошо отработанным технологиям. При этом разработки передовых китайских фирм, того же SMIC, касаются топологий 16/14 нм.

Завод в Гуанчжоу будет обрабатывать пластины диаметром 300 мм (как и 70% из более чем 20 вновь сооружаемых в КНР заводов по обработке пластин). Это свидетельствует о стремлении осваивать максимально передовые технологии. От 200-мм производств Китай тоже не отказывается – часть ИС для Интернета вещей выгоднее производить именно на таких заводах. Кроме того, в мире наблюдается «ренессанс» спроса на 200-мм производства – они лучше приспособлены для изготовления «унаследованных»[1] ИС.

В чем причина серьезного внимания КНР к микроэлектронике? Это не только доходы от продажи ИС и электроники, но еще и обеспечение национальной безопасности. Космическая программа КНР практически обеспечена отечественными комплектующими. Развитие инвестиционной активности китайских фирм в Африке, Европе, Латинской Америке требует поддержки военно-морского флота, которому нужны современные приборы. Кстати, с 2000 г. в КНР строится больше боевых кораблей, чем в Индии, Южной Корее и Японии вместе взятых. Но это – корветы, фрегаты, эсминцы и подлодки. Теперь же страна приступила к сооружению крейсеров океанического класса, способных охранять авианосцы. Налицо дополнительный спрос на военную электронику. Развертывание с 2020 г. в передовых эскадрильях малозаметных самолетов Chengdu-20 (аналог «Стелс»), вооруженных ракетами «воздух–воздух» расширенного радиуса действия (подразумевающих использование систем с АФАР), свидетельствует о намерении Китая догнать по уровню вооружений Россию и США.

Михаил Макушин,
главный специалист отдела научно-технического планирования РЭП

ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ «ИННОВАЦИОННАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА»

ДЛЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ СО ВСЕЙ РОССИИ

ЕЖЕГОДНО С МАРТА ПО СЕНТЯБРЬ

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТОВ

ЦЕННЫЕ ПРИЗЫ

СТАЖИРОВКИ В КОМПАНИЯХ

ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКЕ – ИННОВАЦИОННЫЕ КАДРЫ!

МИНПРОМТОРГ РОССИИ

ИНИИ

inradel.ru

Реклама. Дополнительная информация на сайте inradel.ru и по тел.: 8 (495) 940-65-00 и 8 (495) 940-65-47

Китайские провинции ищут новые пути финансирования развития микроэлектроники

Ключевые слова: инвестиции, кремниевый завод, микроэлектроника, «Новая политика», производственные мощности, финансирование, экспортный контроль.

Реализация «Новой политики» в области микроэлектроники расширяет возможности правительств провинций по привлечению инвестиций. Один из примеров – провинция Гуандун, сумевшая добиться определенных успехов. В то же время западные специалисты продолжают сомневаться в возможности реализации планов КНР по созданию отечественной полупроводниковой промышленности.

В г. Гуанчжоу (столица провинции Гуандун, КНР) началась реализация проекта CanSemi (по бывшему названию Гуанчжоу – Кантон), предусматривающего строительство завода по обработке пластин диаметром 300 мм и мощностью 30 тыс. стартовых пластин в месяц. Со-инвесторами проекта является группа fabless[2]-фирм, правительство и финансовые компании провинции, стремящиеся обеспечить себе гарантированный доступ к современной производственной базе (что в настоящее время является необходимым фактором сохранения конкурентоспособности, в том числе при освоении новых технологий). Данный проект стал последним дополнением растущего перечня проектов создания полупроводниковых фирм в КНР, пытающейся развить национальную микроэлектронику.

Власти Гуанчжоу в последнее время активно пытаются привлечь инвестиции зарубежных электронных фирм, включая Foxconn (Тайвань) и LG (Южная Корея). По данным издания ESM China, создаваемое в рамках проекта CanSemi (иногда называемого Guangzhou Yuexin или YPC) предприятие должно приступить к работе в начале 2019 г. Руководит реализацией проекта Ричард Чан (китаец тайваньского происхождения), один из основателей крупнейшего кремниевого завода[3] КНР – Semiconductor Manufacturing International Corp. (SMIC). Чан также участвует в связанном с CanSemi проекте по созданию в Гуанчжоу fabless-фирмы. Первоначально он пытался реализовать идею создания кремниевого завода, поддерживаемого fabless-клиентами в г. Нинбо (провинция Чжэцзян), но не смог получить достаточной поддержки.

Завод (рис. 1), создаваемый в рамках реализации проекта CanSemi, ориентирован на производство ИС для Интернета вещей, автомобильных сетей (внутриавтомобильные сети и транспортная инфраструктура), средств искусственного интеллекта и средств связи и сетей 5-го поколения (5G). Сторонние обозреватели предполагают, что первоначальная продукция будет выпускаться по процессам с топологиями от 40 до 28 нм. Кроме

Источник: ESM China

Рисунок 1. Снимок макета завода, создаваемого по проекту CanSemi

того, местное правительство и финансовые компании участвуют в проекте в качестве инвесторов, но не в качестве fabless-поставщиков ИС.

В КНР на стадии строительства уже находятся 20 заводов по обработке пластин, которые отслеживаются исследователями SEMI[4]. Большинство рассматриваются как китайские предприятия, 70% реализуемых проектов – заводы по обработке 300-мм пластин.

Некоторые китайские проекты сталкиваются с проблемами финансирования, а также доступа к современным технологическим процессам и необходимому числу высококвалифицированных кадров. Так, например, фирма Yangtze Memory Technology Co. (YMTC) планировала создать три завода суммарной мощностью 300 тыс. стартовых пластин в месяц. Специалисты SEMI полагают, что сейчас действует только одно новое предприятие, расположенное рядом с фирмой XMC в г. Ухань, и его мощность пока ограничена 5 тыс. стартовых пластин в месяц. Правда, неназываемые источники утверждают, что завод YMTC развивается по графику и до конца текущего года приступит к изготовлению 64-слойной 3D-флэш-памяти NAND-типа. При этом опытные образцы 32-слойных приборов, изготовленных XMC, уже доступны для избранных потребителей для оценки.

Тем временем Tsinghua Unigroup, основной инвестор YMTC, заявила о намерениях построить в общей сложности более шести заводов по обработке пластин. Эти планы предполагают создание производственных мощностей в Нанкине и Чэнду, на которых будет ежемесячно обрабатываться по 300 тыс. пластин. Суммарная месячная мощность обработки всех производств, включая заводы YMTC, должна будет превысить 1 млн пластин.

Отмечается острая конкуренция за целевые средства центрального правительства. Правительства провинций, с одной стороны, пытаются получить деньги из федеральных фондов, а с другой – используют бюджеты для привлечения как китайских, так и зарубежных высокотехнологичных фирм. Уже удалось привлечь крупные инвестиции Intel, Samsung, TSMC и GlobalFoundries.

В прошлом году корпорация Gartner предсказала, что КНР может стать крупнейшим покупателем полупроводникового оборудования в 2018 г. С ней согласна корпорация IC Insights, полагающая, что

инвестиции на основное оборудование заводов по обработке пластин в ближайшие три года составят от 10 до 15 млрд долл. Это около 10% от 120 млрд долл. государственных и частных средств, зарезервированных для развития китайской микроэлектроники.

Интересная особенность реализации новых проектов – если на первом этапе коэффициент использования производственных мощностей составит около 50%, то реализация второго этапа начата не будет. Фирмы, только осваивающие полупроводниковое производство и еще не имеющие собственных мощностей (а также опыта и клиентской базы), оказываются в более трудном положении, чем «старожилы».

Правительство Гуанчжоу много лет пыталось добиться сделки по созданию современного завода по обработке пластин. Первые переговоры между China Electronics Corp. (один из крупнейших производителей телекоммуникационного оборудования) и STMicroelectronics прошли 20 лет назад. Однако Гуанчжоу оказался в тени Шэньчжэня, быстро развивающегося центра электроники, в котором корпорация Foxconn производит большие объемы продукции под товарным знаком Apple, а также расположены крупные мощности китайских телекоммуникационных фирм Huawei и ZTE.

Сделка CanSemi знаменует собой новое направление поиска средств – скорее, у будущих заказчиков, чем у центрального правительства. Будет ли она успешной, покажет время. Это не единственный серьезный успех правительства Гуанчжоу. За день до представления проекта CanSemi в рамках нового провинциального инвестиционного фонда было заключено 15 сделок с различными фирмами, специализирующимися на проектировании, производстве и тестировании ИС. Одним из участников этих сделок стала корпорация Guangdong Gowin Semiconductor, специализирующаяся на вентильных матрицах, программируемых пользователем. Ранее же, в течение года, было зафиксировано 24 объявления об инвестициях в электронную промышленность Гуанчжоу, сделанных, в том числе, корпорациями Cisco, GE, Huawei, Tencent и ZTE. Например, в июле 2017 г. LG Display сообщила о намерении построить линию по производству органических СИД (OLED) поколения 8,5, на которой с 2020 г. будет производиться до 2,6 млн ТВ-экранов с разрешением 2200 × 2500 пикселей. В марте 2017 г. корпорация Foxconn заявила о начале производства в 2018 г. 8K[5]-мониторов поколения 10,5 (до этого было принято решение создать аналогичное производство в США) [1].

Как известно, инвестиционные фонды микроэлектроники в КНР создаются в рамках «Новой политики», реализуемой на основе «Рекомендаций по развитию национальной полупроводниковой промышленности» (National Semiconductor Industry Development Guidelines, июнь 2014 г.) и плана «Сделано в Китае-2025» (Made in China-2025, MIC-2025). В соответствии с последним, доля ИС, произведенных в КНР, в общем потреблении ИС на внутреннем рынке должна увеличиться до 40% в 2020 г. и до 70% в 2025 г. [2].

В то же время западные специалисты не раз подвергали сомнению реалистичность планов КНР по развитию национальной электроники. Так, в конце января 2018 г. в еженедельнике EE Times была опубликована статья Билла Маклина, президента исследовательской корпорации IC Insights. В ней он подвергает сомнению возможность выполнения планов КНР. Правда, в отличие от MIC-2025, Маклин почему-то в качестве второго рубежа реализации «Новой политики» называет не 2025, а 2022 г.

Отмечается, что планы финансирования на 120 млрд долл. в ближайшие 10 лет частично обусловлены тем, что объем импорта полупроводниковых приборов превышает стоимость импорта нефтепродуктов. Соответственно, существует необходимость снижения зависимости электронной промышленности

КНР от зарубежных поставок ИС. В этих целях в ближайшие три года около 10% предполагаемого финансирования микроэлектроники будет затрачено на основное производственное оборудование. В 2022 г. производство ИС в КНР составит 33,6 млрд долл., или 7,2% мирового производства – по сравнению с 5% в 2017 г. – и 16,7% внутреннего рынка (рис. 2).

Указывается ряд факторов, которые могут помешать реализации планов КНР в области микроэлектроники.

Первый из них – противодействие со стороны крупнейших производителей в плане развития производственной базы. Так, корпорация Samsung в 2017 г. увеличила капиталовложения до 26 млрд долл. – это вдвое больше среднегодового показателя за последнее время и больше инвестиций Intel и TSMC вместе взятых. Решение объясняется планами КНР и намерениями «задавить» конкурента новыми производственными мощностями. Китайские фирмы добились серьезных успехов, но освоить технологии 18-нм ДОЗУ им будет трудно. Тем более что конкуренты уже уходят в меньшие топологии.

Предполагается, что в 2022 г. потребление ИС в КНР составит 43% от мирового, по сравнению с 38% в 2017 г. Крупнейшими потребителями станут системные интеграторы, такие как Foxconn, изготавливающая по заказу Apple в КНР смартфоны iPhone для зарубежных рынков. Наибольшим сектором потребления ИС в КНР являются ДОЗУ – в 2017 г. на них было потрачено около 27,5 млрд долл. Крупнейший завод по изготовлению ДОЗУ в стране – предприятие южнокорейской SK Hynix, в 2022 г. объем их производства достигнет 8,4 млрд долл. Следующий – Samsung с производством 3D-NAND: 6,1 млрд долл. в 2022 г. На третьем месте – SMIC с 4,6 млрд долл. Всего в 2022 г. из шести крупнейших производителей ИС только два будут китайскими.

До объявления планов Samsung Tsinghua Unigroup планировала выделить 30 млрд долл. на освоение производства 3D-NAND и ДОЗУ на мощностях YMTC, но по результатам первого этапа проекта коэффициент использования оборудования составил всего 50%.

Второй фактор – ужесточение конкуренции в сфере кремниевых заводов.

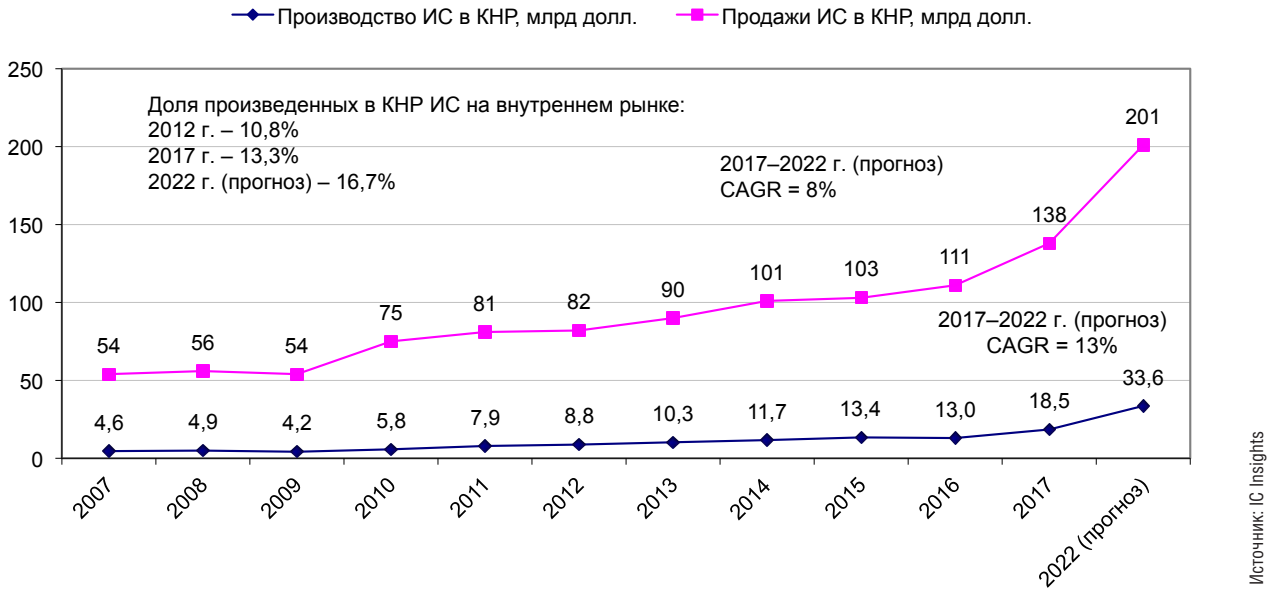


Рисунок 2. Динамика и прогноз соотношения внутреннего потребления и производства ИС в КНР за период 2007–2022 гг.

Здесь в 2006–2007 гг. на КНР приходилось 13,3% рынка. Но после этого появилась корпорация GlobalFoundries (второе место с 2014 г.) и начали оказывать услуги кремниевого завода крупнейшие IDM[6] – Intel и Samsung.

Третий фактор – доступ к передовым технологиям. У корпорации Spansion, поглощенной Cypress, теперь может не оказаться технологии памяти, нужной ее китайскому партнеру YMTC. Аналогичным образом технология встраиваемых ДОЗУ, предоставленная UMC своему партнеру Jin Hua Integrated Circuit Co. (JHICC), а также переданная JHICC технология мобильных ДОЗУ корпорации ISSI могут оказаться неэффективными. Кроме того, корпорация Micron обвиняет UMC в нарушении коммерческой тайны, допущенном при заключении соглашения с JHICC. Это может стать очередным поводом патентных споров с китайскими фирмами.

Четвертый фактор – важная роль, которую играют в ограничении возможностей китайских фирм США [3]. В 2015–2016 гг. Tsinghua Unigroup пыталась поглотить американскую корпорацию Micron Technology (что было одной из стратегических целей китайской полупроводниковой промышленности) за 23 млрд долл., но в конце концов Белый дом заблокировал сделку по соображениям национальной безопасности [4]. В 2017 г. по аналогичной причине была заблокирована сделка по приобретению китайским инвестиционным фондом Canyon Bridge Capital Partners (поддерживаемым правительством КНР) американской корпорации Lattice Semiconductor (г. Портленд, шт. Орегон), поставщика программируемой логики, за 1,3 млрд долл. [5]. Это только два ярчайших примера. Единственным одобренным за 2017 г. стало вступившее в силу в январе 2018 г. поглощение компанией Naura Microelectronics Equipment (г. Пекин) фирмы Akrion Systems (г. Аллентаун, шт. Пенсильвания), поставщика инструментальных средств подготовки поверхности полупроводниковых пластин диаметром 200 и 300 мм, за 15 млн долл. Полученное разрешение не отражает изменения стратегической позиции США по блокированию сделок приобретения китайскими фирмами и инвестиционными фондами американских высокотехнологичных фирм. Разрешение в случае с Akrion обусловлено тем, что ее продукция не является стратегически важной, а сумма сделки мала. Действительно, ведущие поставщики полупроводникового оборудования, такие как Applied Materials и TEL, предоставляют более современные решения [6].

Пятый фактор – применение санкций к китайским фирмам, нарушившим американское законодательство. Так, ZTE была вынуждена выплатить штраф в размере 892 млн долл. за поставки в Иран оборудования, подпадающего под нормы США по контролю над экспортом [7].

И, наконец, последствия сделки по поглощению корпорацией Qualcomm корпорации NXP. Если правительство КНР даст разрешение (восьмое после регулирующих органов ЕС и последнее на пути завершения сделки) на это поглощение, то крупнейшая в мире fabless-фирма станет владельцем нескольких заводов по обработке пластин, что может снизить объем ее заказов китайским кремниевым заводам [3].

1. *Merritt, Rick. China Foundry Seeks Shared Model (Guangzhou Joins the Provincial Race for Fabs). EE Times, January 29, 2018: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1332901* ***2.*** *PWC. 2016. China's Impact on the Semiconductor Industry: 2015 update March: http://english.cntv.cn/special/madeinchina/index.shtm* ***3.*** *Merritt, Rick. China Forecast to Miss Chip Targets. EE Times, January 26, 2018: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1332896* ***4.*** *Merritt, Rick. China Bids $23B for Micron. EE Times, July 13, 2015: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1327149* ***5.*** *McGrath, Dylan. Trump Blocks Takeover of Lattice Semi. EE Times, September 14, 2017: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1332294* ***6.*** *McGrath, Dylan. U.S. Clears Chinese Firm's Acquisition of Fab Tool Vendor. EE Times, January 19, 2018: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1332864* ***7.*** *McGrath, Dylan. ZTE Agree to Pay U.S. $892 Million Over Iran Charges. EE Times, March 9, 2017: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1331460*

Последняя волна сделок слияния и поглощения в микроэлектронике: причины и последствия

Ключевые слова: государственное регулирование, издержки, микроэлектроника, поглощения, слияния, технологический уровень.

В 2015 г., когда начался цикл слияний и поглощений (сделки M&A) в полупроводниковой промышленности, объем подобных сделок за 12 месяцев в 1,7 раза превысил аналогичный показатель за пять предшествующих лет (2010–2014 гг.). В 2016 г. сумма сделок составила около 100 млрд долл., а в 2017 г. цикл M&A завершился ввиду достижения отраслью степени консолидации, необходимой для перехода на следующий технологический уровень. Прошедший цикл имел ряд отличительных особенностей: резкий, волнообразный рост в ранее невиданных объемах; сокращение числа крупнейших поставщиков в основных сегментах рынка; многократность сделок – поглотившие других фирмы на следующем этапе могли сливаться с другими или поглощаться.

ПРИЧИНЫ СДЕЛОК M&A

Сделки M&A осуществляются с целью избавления от нерентабельных активов, обмена активами, пополнения ассортиментного ряда и патентных портфелей или выхода на новые рынки с высокими темпами роста. С одной стороны, консолидация производственной базы ведет к сокращению удельных издержек и повышению эффективности производства. С другой стороны, есть ряд негативных последствий. Одно из них – потенциальная возможность сокращения числа инноваций и замедление инновационного процесса. В полупроводниковой промышленности такие опасения высказывают прежде всего поставщики оборудования.

При переходе на меньшие топологические нормы сложность НИОКР и затраты на них возрастают экспоненциально, существенно увеличивается стоимость оборудования и материалов, разработки новых технологических процессов. Так, по данным корпорации Gartner, средняя стоимость проектирования 16/14-нм ИС составляет около 80 млн долл., по сравнению с 30 млн долл. для 28-нм планарных приборов. Более того, проектирование 7-нм ИС будет стоить порядка 271 млн долл. [1]. Так же быстро увеличивается количество материалов, используемых при производстве приборов.

Действительно, с каждым технологическим уровнем, с каждым годом требуется все больше инноваций. В 1960-х, 1970-х и 1980-х гг. ситуация была достаточно простой. В 1990-х появились силициды. В 2000-х началось применение оксидов тантала, спиновых стекол, меди, материалов с низкой диэлектрической проницаемостью (low-k). 2010 г. привнес новшества в виде материалов с высокой диэлектрической проницаемостью

(high-k) и металлических затворов (процесс HKMG). Также в моду начинают входить пористые low-k-материалы, новые барьеры, «кремний-на-изоляторе» (SOI). В 2015 г. появилось немало материалов для использования при формировании рисунка. Как ожидается, в период до 2020 г. много внимания будет уделяться материалам каналов – с отходом от применения кремния в пользу германия и далее к материалам типа $A^{III}B^{V}$. Привлекают внимание исследователей и сегнетоэлектрические материалы, такие как FeFET.

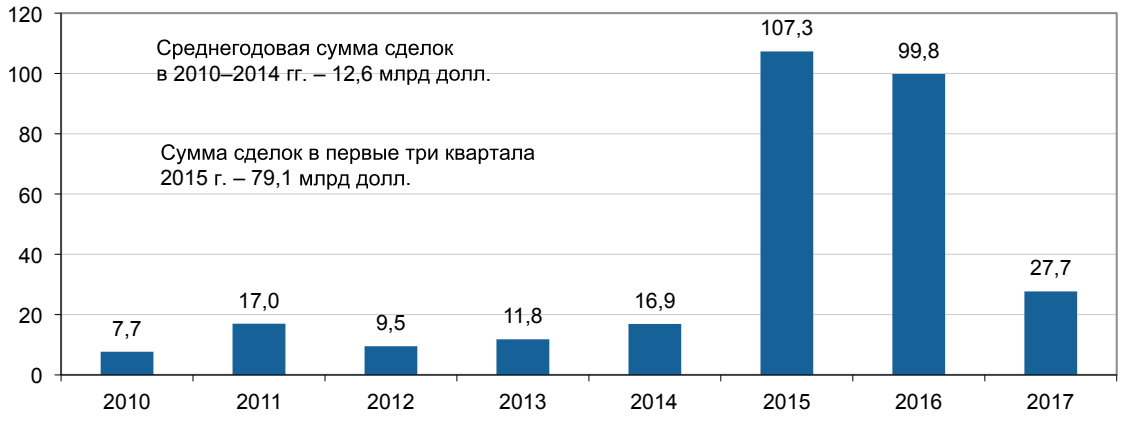
КАК ШЛА ВОЛНА СДЕЛОК M&A

Волна сделок M&A, охватившая полупроводниковую промышленность в 2015–2016 гг., в 2017-м значительно замедлилась, но их общая стоимость в течение года более чем в два раза превысила среднегодовой показатель за первую половину текущего десятилетия.

По данным IC Insights, в 2017 г. было заключено около 20 сделок этого типа, касающихся полупроводниковых фирм в целом, их подразделений или производственных линий, а также связанных с ними активов, общей стоимостью 27,7 млрд долл. Это более чем трехкратное сокращение по сравнению с рекордно высокими показателями 2015 (107,3 млрд долл.) и 2016 г. (99,8 млрд долл.) (см. рисунок). До всплеска сделок M&A, произошедшего в 2015–2016 гг., среднегодовые объемы подобных операций в 2010–2014 гг. составляли около 12,6 млрд долл.

Отличительной особенностью сделок M&A в 2017 г. стала концентрация 87% их стоимости в рамках двух операций, без которых годовые показатели оказались бы ниже обычного среднегодового объема объявленных сделок. Падение общей стоимости соглашений этого типа в 2017 г. говорит о том, что ситуация стабилизируется. Подъем волны сделок M&A в 2015 г. был связан с тем, что все больше фирм стали частично или полностью приобретать другие фирмы, чтобы скомпенсировать замедление темпов роста на основных рынках конечного потребления своей продукции (смартфоны, ПК, планшетные ПК и т.д.) и расширения сферы влияния на новые перспективные рынки, такие как Интернет вещей, носимая электроника и интеллектуальная встраиваемая электроника (в частности, перспективные системы помощи водителю – ADAS – в новых автомобилях и ожидаемое в ближайшем будущем массовое развертывание автономных транспортных средств).

Одно из самых больших отличий сделок M&A полупроводниковых фирм в 2017 г. от двух предыдущих лет – мень-



Источник: IC Insights

Динамика стоимости сделок M&A микроэлектронных фирм в 2010–2017 гг., млрд долл.

шее число сверхкрупных сделок. Рубеж в 1 млрд долл. преодолели только две из них – приобретение отделения схем памяти корпорации Toshiba за 18 млрд долл. фирмой K.K. Pangea (специально создана для сделки, управляется американской частной инвестиционной компанией Bain Capital Private Equity) и объявленное приобретение фирмы Cavium корпорацией Marvell за 6 млрд долл. При этом в 2015 г. было зафиксировано 10 сделок стоимостью более 1 млрд долл., а в 2016 г. – семь. Однако благодаря двум упомянутым сделкам средняя стоимость операции M&A в 2017 г. составила 1,3 млрд долл., без них это значение опустилось бы до 185 млн долл. Средняя стоимость 22 M&A в 2015 г. составила 4,9 млрд, а 29 сделок 2016 г. – 3,4 млрд долл. [2].

КАКОВ РЕЗУЛЬТАТ ВОЛНЫ M&A?

Благодаря прошедшим M&A состояние отрасли улучшилось. Мировые продажи полупроводниковых приборов по итогам 2017 г. составили 419,7 млрд долл., что на 22,2% больше показателей 2016 г. Росту продаж, по данным корпорации Gartner, способствовало увеличение продаж схем памяти на 64%, при этом на долю этих ИС пришелся 31% общих продаж полупроводниковых приборов и 2/3 роста продаж в целом. Существенный рост продаж схем памяти объясняется прежде всего возникшим дефицитом их предложения (сокращение мощностей в результате слияний и поглощений и банкротств изготовителей) и, соответственно, ростом средних продажных цен (СПЦ). Так, СПЦ флэш-памяти NAND-типа за год выросли на 17% (наблюдается впервые), а ДОЗУ – на 44% [3].

ВЛИЯНИЕ СДЕЛОК M&A НА РАССТАНОВКУ СИЛ НА РЫНКЕ

Сделки M&A влияют на динамику прибылей от продаж ИС, конъюнктуру рынков и расстановку сил в рейтингах ведущих производителей, а также сокращение числа ведущих поставщиков, контролирующих большую часть сегментов и рынка полупроводниковых приборов в целом.

В качестве примера последствий процесса M&A можно привести индустрию схем памяти. Здесь число производителей ДОЗУ за 10 лет (2007–2016 гг.) сократилось с 32 до трех (Samsung, SK Hynix и Micron). В области флэш-памяти NAND-типа осталось четыре основных изготовителя: Samsung, SK Hynix, а также совместные предприятия корпораций Intel и Micron, Toshiba и Western Digital [2].

Сделки M&A иногда бывают многократными, т.е. после состоявшегося или во время идущего слияния или поглощения может появиться фирма, претендующая на покупку на результаты сделки. В этом плане показателен опыт корпорации Qualcomm. Qualcomm и NXP Semiconductors объявили в октябре 2016 г. о достижении окончательного соглашения, по которому Qualcomm должна выкупить все выпущенные и находящиеся в обращении акции NXP на 47 млрд долл. При этом в 2015–2016 гг. эти фирмы уже совершили ряд M&A-сделок.

Сделка Qualcomm и NXP должна была завершиться в 2017 г., но не завершилась (из необходимых девяти разрешений национальных правительств и ЕС было получено только семь; разрешение от ЕС получено в середине января 2018 г., осталось разрешение правительства КНР). Теперь же ситуация осложнилась появлением корпорации Broadcom, осуществившей в октябре 2017 г. незапрошенную заявку по покупке корпорации Qualcomm за 130 млрд долл. Qualcomm в начале ноября отвергла это предложение. Но Broadcom намерена продолжать попытки купить своего испытывающего трудности конкурента.

В 2017 г. совокупные продажи Broadcom, Qualcomm и NXP составили

41,2 млрд долл., так что объединенная фирма могла бы занять третье место после Samsung и Intel. Если же Broadcom сумеет совершить непосредственное поглощение Qualcomm/NXP, то в 2019 г. она может вытеснить на третье место Samsung – в случае серьезного падения цен на схемы памяти [3].

ОСОБЕННОСТИ СДЕЛОК СЛИЯНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ В КНР

Главная особенность сделок M&A в КНР – активное участие в процессе государства. Со временем предполагается на равных конкурировать с тайваньскими производителями мирового уровня и крупнейшими мировыми поставщиками ИС, такими как Intel и Qualcomm. В целях ускорения получения передовых технологий китайские фирмы активно осуществляют поглощения зарубежных компаний.

С начала 2016 г. китайские фирмы сделали предложения о покупке более чем 70 микроэлектронным компаниям, как отечественным, так и зарубежным. Особое место занимает приобретение китайской группой Hua Capital американской корпорации OmniVision. Эта сделка (окончательно завершившаяся в начале 2016 г.) примечательна тем, что приобретением ведущего в мире поставщика КМОП-формирователей сигналов изображения КНР добилась немедленного доступа на мировой рынок, овладев при этом обширной долей рынка данных приборов, принадлежащей OmniVision.

Насколько удастся в дальнейшем китайским фирмам проводить поглощения западных компаний – большой вопрос. В январе 2017 г. перед уходом администрация Барака Обамы опубликовала доклад, содержащий предупреждения о том, что амбициозные планы КНР по развитию внутреннего производства ИС, поддерживаемые значительными финансовыми ресурсами, могут угрожать американской полупроводниковой промышленности, особенно с учетом огромного торгового дефицита США в торговле с КНР. Дональд Трамп после вступления в должность стал блокировать попытки китайской группы Tsinghua (в нее входят ведущие fabless-фирмы Spreadthrum, RDA, Hi Silicon и несколько кремниевых заводов) и других поддерживаемых правительством КНР организаций купить американских разработчиков и изготовителей ИС.

* * *

Последний цикл M&A совпал с освоением в массовом производстве ИС с топологиями 16/14 нм и подготовкой к переходу на топологии 10/7 нм, которые предполагается освоить производством в 2018–2020 г. Такой переход по силам только Intel, Samsung, TSMC и GlobalFoundries – по крайней мере на первых этапах. Однако самим гигантам для повышения доходов (роялти, лицензионные платежи и т.п.) и расширения сферы своего технологического влияния понадобятся более мелкие партнеры – им можно будет частично передать производство приборов по зрелым технологиям, которые по-прежнему пользуются спросом.

1. *LaPedus, Mark. Foundry Challenges in 2018. Semiconductor Engineering, December 27, 2017: http://semiengineering.com/foundry-challenges-in-2018/* ***2.*** *Value of Semiconductor Industry M&A Deals Slows Dramatically in 2017. Solid State Technologies. The Pulse, January 19, 2018: http://electroiq.com/blog/2018/01/value-of-semiconductor-industry-ma-deals-slows-dramatically-in-2017/* ***3.*** *Worldwide Semiconductor Revenue Grew 22.2% in 2017; Samsung Takes Over No. 1 position. Solid State Technologies. Wafer News, January 16, 2018: http://electroiq.com/blog/2018/01/worldwide-semiconductor-revenue-grew-22–2-in-2017-samsung-takes-over-no-1-position/* ***4.*** *McGrath, Dylan. U.S. Clears Chinese Firm's Acquisition of Fab Tool Vendor. EE Times, January 19, 2018: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1332864*

ПОЛНЫЙ СПЕКТР ИЗДАНИЙ
ДЛЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

4 НАУЧНЫХ ЖУРНАЛА В ГОД

12 НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ В ГОД

26 ЭЛЕКТРОННЫХ ЖУРНАЛОВ В ГОД

ЕЖЕГОДНЫЙ СПРАВОЧНИК

Тел. 8 (495) 940-65-24 e-mail: publish@instel.ru www.instel.ru

Развитие технологии электронно-лучевого контроля в микроэлектронике

Ключевые слова: дефекты, массовое производство, многолучевая методика, НИОКР, оптический контроль, потенциальный контраст, электронно-лучевой контроль.

Контроль дефектов с помощью электронно-лучевой технологии набирает популярность. Причина – с его помощью легче, чем с помощью традиционных средств, найти мельчайшие трудно обнаруживаемые дефекты, что важно в условиях заводов по обработке пластин, особенно при освоении и использовании новейших технологий, характеризующихся малыми топологическими нормами. Однако широкому внедрению мешает существенный недостаток – низкое быстродействие.

В настоящее время ряд ведущих поставщиков оборудования, включая Applied Materials, ASML/HMI, разрабатывают новые инструментальные средства электронно-лучевого контроля и соответствующих технологий с целью решения наиболее трудных вопросов обнаружения дефектов в условиях завода по обработке пластин. Электронно-лучевой контроль – один из способов обнаружения дефектов на пластине. Другой способ – оптический контроль. Не так давно производители ИС для обнаружения дефектов в процессе производства использовали в основном оптические инструментальные средства. Электронно-лучевой способ использовался только в НИОКР, так как для условий производства его быстродействия недостаточно.

При переходе производителей к топологическим нормам порядка 16/14 нм и менее процессы становятся более сложными, а размеры топологических элементов все более мелкими. Соответственно, на каждом последующем технологическом уровне размер обнаруживаемых дефектов уменьшается. Неспособность определить местоположение подобных катастрофических дефектов может воздействовать на выход годных.

На сегодня оптический контроль остается «рабочей лошадкой» в производстве, но в некоторых применениях данная технология подходит к пределам своих возможностей. Соответственно, производители ИС пытаются интегрировать электронно-лучевой контроль в технологический процесс мониторинга на действующем производственном оборудовании для некоторых (но не для всех) применений при изготовлении полупроводниковых приборов с топологиями 16/14 нм и менее.

Инструментальные средства электронно-лучевого контроля используются для ускорения процесса повышения выхода годных. Идея заключается в обна-

ружении и исключении одного типа дефекта после другого, до тех пор, пока прибор может изготавливаться в соответствии со спецификациями. В полупроводниковой промышленности основным условием успеха является завершение процесса освоения новой технологии или конструкции и как можно более короткие сроки в рамках процесса, именуемого изучением факторов повышения выхода годных. Одна из ключевых стратегий сокращения цикла изучения факторов повышения выхода годных – рост использования методик обнаружения дефектов в процессе производства на действующем оборудовании, включая электронно-лучевой контроль.

Полная замена методов и инструментальных средств оптического контроля в условиях завода по обработке пластин методами и инструментальными средствами электронно-лучевого контроля маловероятна. Оптические методы остаются инструментарием крупносерийного производства (high-volume manufacturing, HVM). Электронно-лучевые средства идеальны для некоторых типов дефектов, но их использование по-прежнему ограничено. По мере дальнейшего продвижения инструменты и методики электронно-лучевого контроля будут использоваться по все большему числу применений в области новейших технологий.

Методика электронно-лучевого контроля все шире применяется в традиционном режиме потенциального контраста (или контраста напряжения), т.е. в ситуации, когда бесконтактный электрический сигнал о дефекте в проверяемом объекте может значительно снизить время обнаружения дефекта, а также для обнаружения физических дефектов, особенно на новейших топологиях (7/5 нм). Ее также можно использовать в этих же целях на более зрелых технологиях (например, 90 нм), где традиционные оптические методики демонстрируют плохое отношение «сигнал–шум».

Несколько событий, значимых в масштабе промышленности, подтверждают, что развитие методик электронно-лучевого контроля ускоряется:

- ASML/HMI недавно представили инструментальное средство электронно-лучевого контроля с увеличенной производительностью;
- Applied Materials разработала методику использования существующего инструментального средства для контроля кобальтовых токопроводящих дорожек;
- GlobalFoundries и Samsung по отдельности разработали методики для существующих инструментальных средств, позволяющие решить некоторые проблемы обнаружения дефектов в FinFET[7];
- ряд фирм разрабатывает многолучевые средства электронно-лучевого контроля.

О КОНТРОЛЕ ПЛАСТИН

Контроль дефектов – научная дисциплина, изучающая процессы поиска катастрофических дефектов в структурах. Рынок средств для контроля обработанных пластин растет – в 2018 г. он достигнет 1,65 млрд долл., по сравнению с 1,43 млрд в 2017-м. Эти данные касаются как оптических, так и электронно-лучевых средств. При этом продажи электронно-лучевых систем увеличатся с 200 млн долл. в прошлом году до 230 млн в текущем году.

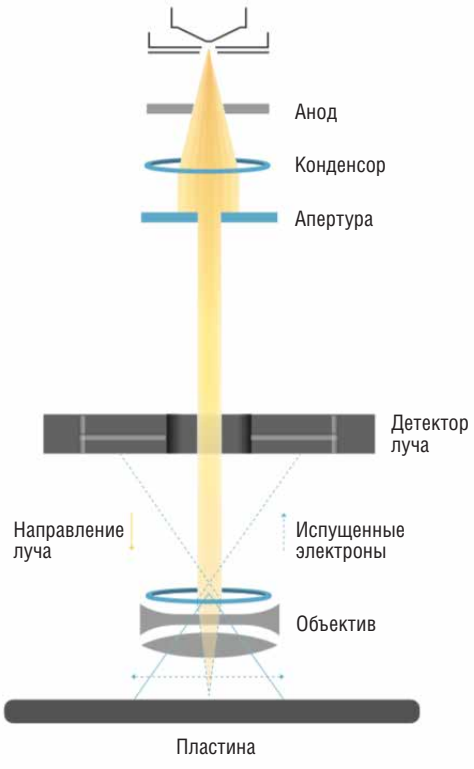
В целом оптическая и электронно-лучевая методики контроля, как две основные технологии этого назначения, дополняют друг друга. Каждая из них в технологическом процессе контроля осуществляет различные функции и обладает своим набором достоинств и недостатков.

Средства оптического контроля используют для обнаружения дефектов на пластине 193-нм источник излучения, современные оптику и датчики. Опти-

ческий контроль используется главным образом в производстве – благодаря своему быстродействию. Обычно производительность установок оптического контроля составляет одну-две пластины в час. Однако оптический контроль имеет некоторые ограничения в плане разрешающей способности. По данным отраслевых аналитиков, т.н. «серая зона» средств оптического контроля находится в пределах топологических норм от 20 до 10 нм. Впрочем, некоторые фирмы продолжают использовать оптические средства на меньших топологиях. Так, например, 193-нм платформа контроля пластин корпорации KLA-Tencor (Gen 5) применяется за пределами серой зоны. Представители фирмы, основываясь на обратной связи с заказчиками, считают, что Gen 5 поддержит их клиентов при разработке 7-нм технологии и будет иметь большое значение при разработке 5-нм технологии.

В отличие от оптической методики на основе фотонов, электронно-лучевой подход основан на использовании свойств электронов. Излучаемые установкой электроны, сформированные в луч, попадают на поверхность образца и проникают в нее. Далее электроны рассеиваются и возвращаются обратно к детектору инструментального средства. Вторичные, или отраженные электроны используются для выявления дефектов в сформированных на пластине приборах (рис. 1).

Технология электронно-лучевого контроля предназначена для обнаружения мельчайших дефектов, так как обладает разрешающей способностью до 1 нм. Правда, как и ранее, существует проблема с производительностью. Как правило, средства электронно-лучевого контроля работают в тысячу или более раз медленнее, чем системы оптического контроля, и не пригодны для мониторинга в условиях массового производства. Соответственно, при работе оптические инструменты сканируют всю пластину, а электронно-лучевые – небольшие участки кристалла в целях поиска специфичных и трудно обнаруживаемы



Источник: Applied Materials

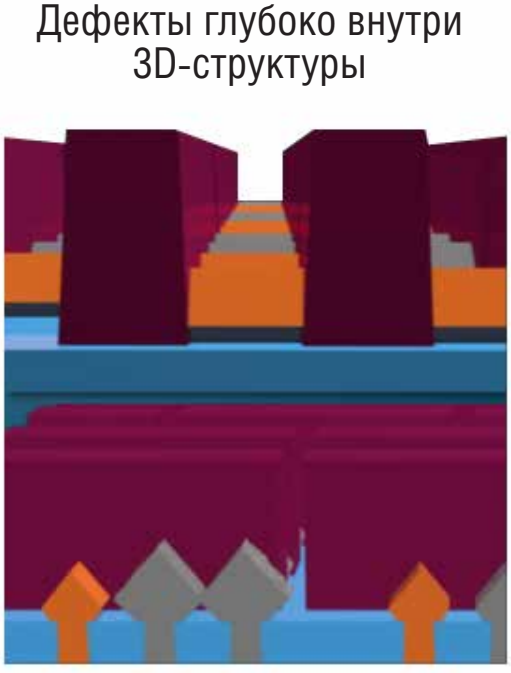
Рисунок 1. Электронно-лучевая архитектура

дефектов. По этой и другим причинам электронно-лучевой контроль находит применение главным образом в инженерном анализе при проведении НИОКР. Однако ситуация начинает меняться.

Не так давно производители ИС перешли от планарных приборов с проектными нормами 28 нм и выше к трехмерным FinFET-структурам с топологиями 22 и 16/14 нм. Обнаружение дефектов в подобных структурах усложняется. Например, дефекты могут возникать глубоко внутри FinFET-структур или заглубляться в них. В p-канальных FET-структурах могут возникнуть мельчайшие дефекты перемычек (рис. 2).

Как уже отмечалось, на каждом новом технологическом уровне размеры дефектов уменьшаются и их поиск становится все труднее. Инструментарий оптического контроля способен найти большое количество дефектов, но производители ИС при переходе на 16/14-нм топологи все больше опираются на электронно-лучевые методики контроля. Длина волны электронного луча намного меньше, чем у светового, что позволяет добиться большей разрешающей способности. Именно поэтому методика электронно-лучевого контроля при переходе на 14-нм технологию стала широко использоваться как встроенное в технологическую линию средство мониторинга дефектов. Она нашла свое место на промежуточных[8], завершающих[9] и других этапах формирования логических ИС. Также она используется для контроля трехмерных ДОЗУ и флэш-памяти NAND-типа. Однако это не повсеместное, а индивидуальное использование в рамках завода по обработке пластин, т.е. в отдельных модулях и для обнаружения конкретных дефектов. Основная область использования – встроенные дефекты (физические или электрические), дефекты зазоров или систематические дефекты формирования рисунка.

Как оптические, так и электронно-лучевые средства контроля предназна-



Источник: Applied Materials

Рисунок 2. Примеры труднообнаруживаемых малых дефектов в структурах

чены для поиска дефектов, но они, как правило, решают различные вопросы. В целом оптический контроль направлен на поиск физических дефектов, таких как пустоты и поры, выпячивания и выбухания, дефекты перемычек.

Электронно-лучевой контроль также ориентирован на обнаружение физических дефектов – но только тех, которые слишком малы для корректного применения методов оптического контроля. В основном электронно-лучевой инструментарий используется для обнаружения электрических дефектов, таких как короткие замыкания или размыкания электрической цепи, а также пустот в структурах межсоединений.

В применениях потенциального контраста к прибору прикладывается внешнее смещение напряжения. Затем электронно-лучевая установка анализирует разброс значений контраста изображения структуры для определения работоспособности прибора.

РЕШЕНИЯ

Несмотря ни на что, электронно-лучевой контроль демонстрирует прогресс по нескольким направлениям. В 2016 г. корпорация ASML вышла на рынок оборудования электронно-лучевого контроля пластин, поглотив фирму Hermes Microvision (HMI). В то время HMI являлась крупнейшим поставщиком инструментально-лучевых средств контроля пластин. Недавно ASML/HMI представила свою первую совместно разработанную систему, объединяющую электронно-лучевое средство HMI и машину вычислительной литографии ASML.

Благодаря вычислительному блоку ASML новая система способна моделировать топологические размеры элементов промежуточных шаблонов и то, как они будут переноситься на пластину. Речь идет о возможности предварительного определения областей на пластине, способных потенциально стать дефектоопасными. Затем, объединяя данные моделирования с данными всех датчиков используемого сканера, можно вычислить и предсказать места нарушения формируемых структур. Далее данные передаются на средство электронно-лучевого контроля HMI, которое ориентируется не на всю пластину, а на потенциально проблемные области.

Другие фирмы также развивают данную технологию. На последней Международной конференции по электронным приборам (IEDM) в декабре 2017 г. корпорация Applied Materials представила доклад о новом применении своего инструментального электронно-лучевого средства. Был найден новый способ обнаружения встроенных пустот в кобальтовых канавках при реализации промежуточного этапа 7-нм технологического процесса.

Микросхема состоит из трех частей – транзистора, контактов и межсоединений. Транзистор располагается в нижней части структуры и служит переключателем. Межсоединения, расположенные поверх транзистора, состоят из тонких схем медной разводки, передающих сигнал от одного транзистора к другому. На каждом новом технологическом уровне межсоединения становятся все более компактными, что приводит к нежелательным резистивно-емкостным задержкам. Решением этих проблем является введение относительно нового этапа обработки – MOL (MEOL). Создаваемый при этом слой соединяет отдельный транзистор и части межсоединений, используя последовательность контактных структур. Эти малые контакты представляют собой 3D-структуры с малым зазором. В процессе осаждения этот зазор заполняется проводящим материалом – вольфрамом (вольфрамовая пробка).

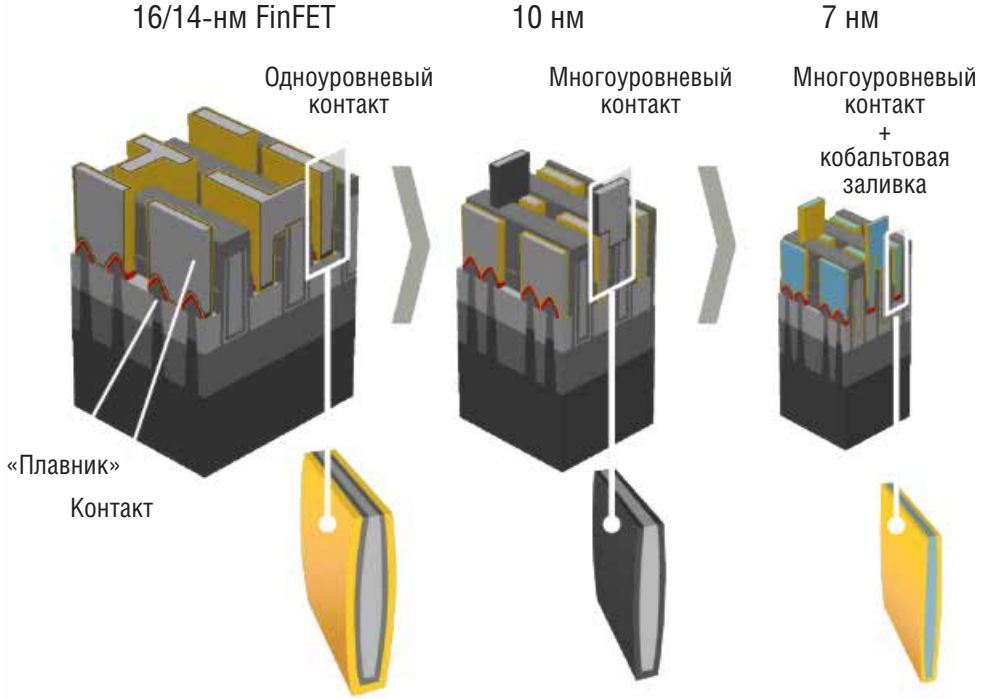
На каждом новом технологическом уровне контакт становится меньше, соответственно, уменьшается объем вольфрамового проводника. Это означает, что сигнал должен проходить через меньшее количество материала провод-

ника, что порождает еще одну большую проблему – контактное сопротивление. Для ее преодоления некоторые производители ИС на уровне 10/7-нм топологий пытаются заменить вольфрам кобальтом (рис. 3).

Кобальт снижает линейное сопротивление в ИС, но также привносит некоторые трудности в процесс заполнения зазоров. По мере масштабирования топологических норм увеличиваются требования к процессу металлизации и обычным режимам отказов, связанных с выходом годных, включая неполное заполнение зазора или возникновение пустот. Соответственно, критически важно провести ряд этапов контроля для проверки успешности (полноты) процесса заполнения зазора кобальтом. Для этого анализ дефектов иногда проводят с помощью электрических измерений и просвечивающего электронного микроскопа (transmission electron microscope, TEM). Этот прибор обладает высокой разрешающей способностью, но при этом является медленным и разрушающим методом контроля. Обычно контрольный экземпляр отрезают от пластины и затем исследуют при помощи TEM.

Для устранения этого неудобства корпорация Applied Materials разработала неразрушающую электронно-лучевую методику контроля. Но и здесь существует ряд проблем. Так как пустоты обычно меньше ширины кобальтовой линии, критическим становится обнаружение пустот размером до 5 нм. При этом обнаружение пустот менее 10 нм требует размера пятна электронного луча менее 3 нм.

Для обнаружения пустот в кобальте электроны электронного луча должны проникать в канавку на достаточную глубину. В исследовании Applied Materials рассматривалось использование электронного луча с энергиями от 0,5 до 30 кВ на глубину от 35 Å до 3,1 мкм. Была продемонстрирована возможность обнаружения пустот с использованием сочетания энергетических уровней. В случае, когда пустота оказывалась в 20 нм от поверхности, максимальный контраст обеспечивала сравнительно малая энергия. При более глубоком залегании пустот



Источник: Applied Materials

Рисунок 3. Использование кобальта в MEOL-этапе 7-нм процесса

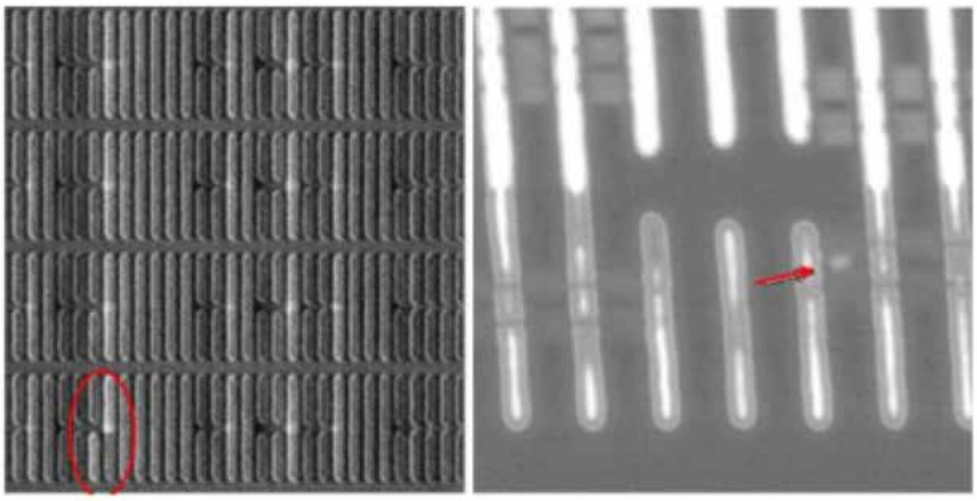
требовалась бóльшая энергия. Так, для обнаружения пустот на глубине 60 нм понадобилась энергия в 20 кВ. Кроме того, исследование выявило слабую зависимость обнаружения от размера пустот, что означает, что для успешного обнаружения дефектов в основном важны глубина залегания и энергия электронного луча.

В то же время электронно-лучевой контроль используется для FinFET – например, корпорация Samsung разработала методику для выявления в 4-нм FinFET коротких замыканий.

Электронный луч можно использовать для выявления в приборах как коротких замыканий, так и открытых состояний. Открытые состояния обнаруживаются с использованием методик темного потенциального контраста (dark voltage contrast, DVC), в то время как для выявления коротких замыканий используются методы яркого потенциального контраста (bright voltage contrast, BVC). По данным корпорации Samsung, DVC-сигналы легче проверить, чем BVC-сигналы. Для разрешения этой проблемы Samsung разработала BVC-методику, включающую отдельные этапы обнаружения и верификации. На первом этапе используется инструментальное средство электронно-лучевого контроля, расположенное на заводе по обработке пластин. При этом неясно, пропадет сигнал или нет. На втором этапе Samsung использует методику нанозондирования. Это обособленная система – лаборатория анализа отказов, расположенная отдельно.

При нанозондировании к тестируемому прибору с целью извлечения электрических параметров прикладываются тонкие вольфрамовые провода. Нанозонды измеряют ток утечки в месте потенциального отказа и сравнивают его с показаниями с заведомо годными местами, т.е. ток утечки является критерием при определении того, зафиксировал ли BVC-сигнал реальное короткое замыкание или нет. Затем на данном этапе применяется TEM с целью окончательного доказательства наличия или отсутствия короткого замыкания. Предложенная методика обеспечивает своевременное получение информации о коротких замыканиях и помогает сократить цикл изучения возможностей повышения выхода годных.

Корпорация GlobalFoundries также использовала методику нанозондирования для получения BVC-сигналов по специфическим дефектам в FinFET на основе «кремния-на-изоляторе» (SOI). Целью являлось выявление ярких дефектов числовой шины СОЗУ (рис. 4).



Источник: GlobalFoundries

Рисунок 4. Яркий дефект затвора (обведен красным) и соответствующая верификация анализа отказов

По данным GlobalFoundries, нанозондирование используется после того, как стандартная методика TEM-анализа отказов не находит систематической погрешности в группе дефектов, обследованных электронным лучом.

При зондировании крошечные зонды определяют уровень утечки, вызванный BVC. Для этого несколько небольших наконечников зонда (~мкм в диаметре) прокладываются к проводящим узлам полупроводниковой пластины – частично или полностью обработанной. Часто такими проводящими узлами являются исток, сток и затвор проверяемого транзистора. Использование данного метода для проверки потенциального контраста выявленных электронным лучом дефектов становится более полезным на последних технологических уровнях, так как токи утечки в наноамперном диапазоне стали намного более распространенными из-за сужения границ рабочего режима процесса. Утечки в этом диапазоне выглядят точно так же, как устойчивые (катастрофические) короткие замыкания, но могут не вызывать катастрофического отказа. Понимание того, является ли дефект, выявленный потенциальным контрастом электронного луча, устойчивым коротким замыканием или утечкой, очень важно для определения маршрута коррекции. Каждый транзистор для зондирования определяется путем подсчета от известной опорной точки, такой как угол блока СОЗУ.

РАЗВИТИЕ МНОГОЛУЧЕВЫХ ПОДХОДОВ

Несмотря на то что электронно-лучевая технология быстро развивается, она никогда не станет доминирующей в области методик контроля ИС – из-за низкой производительности. Поэтому в сфере НИОКР промышленность развивает многолучевые средства контроля, благодаря чему удается существенно увеличить производительность электронно-лучевых установок.

Правда, при многолучевом подходе существует тенденция возникновения помех между электронами различных лучей, что воздействует на производительность системы. Существующая на данный момент невозможность управления этим процессом является причиной необходимости более долгих сроков коммерциализации данного подхода.

Тем не менее промышленность демонстрирует успехи: подобную технологию для контроля EUV[10]-шаблонов разрабатывают ASML, KLA-Tencor и ряд других фирм. А фирма Zeiss создала 91-лучевой растровый (сканирующий) электронный микроскоп для контроля и аттестации EUV-шаблонов.

Контроль шаблонов отличается от контроля пластин. Однако, если промышленность может создавать многолучевые установки для контроля шаблонов, то вероятно освоение подобной технологии для контроля пластин. Некоторые отраслевые аналитики предполагают, что многолучевые электронно-лучевые инструментальные средства могут появиться к 2020 г. Многие, если не все, желают такого исхода.

LaPedus, Mark. E-Beam Inspection Makes Inroads. Semiconductor Engineering, January 18, 2018: https://semiengineering.com/e-beam-inspection-makes-inroads/

Будущее промышленности – интеллектуальные производства и промышленные технологии

Ключевые слова: большие данные, издержки производства, искусственный интеллект, машинное обучение, планирование ресурсов, управление операциями, цифровизация.

Благодаря новым технологиям, таким как искусственный интеллект, Интернет вещей, машинное обучение и большие данные, необратимой тенденцией развития электронной промышленности стала цифровая трансформация. Ожидается, что мировой рынок интеллектуального производства и умных промышленных технологий в 2018 г. достигнет 250 млрд долл.

Процесс производства полупроводниковых приборов достиг пределов своих возможностей масштабирования в плане уменьшения топологических норм. Для сохранения собственной конкурентоспособности корпорации вынуждены создавать и поддерживать новейшие производственные мощности и технологические процессы. Достижения в области облачных вычислений, обработки данных и технологий системной интеграции становятся ключом к широкому внедрению интеллектуального производства.

Недавно SEMI провела Форум по вопросам развития искусственного интеллекта и интеллектуального производства (AI and Smart Manufacturing Forum), в котором приняли участие представители Advantech, ASE, AUO, ISCOM, Micron, Microsoft, Siliconware, Stark Technology, Tectura, TSMC и ряда других ведущих фирм. Целью форума стали разработка подходов по оказанию помощи производителям полупроводниковых приборов в плане ориентирования в вопросах цифровой трансформации, исследования технологических тенденций, проблем и возможностей интеллектуального производства. В целом на форуме встретились около ста специалистов. Ниже приведены основные выводы, сделанные ими на форуме.

1. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЯВЛЯЕТСЯ КЛЮЧОМ К ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Концепция Industry 4.0[11] целиком посвящена использованию автоматизации с целью лучшего понимания потребностей клиента и улучшения эффективности, что позволит принимать лучшие стратегические решения в области производства. Для производителей электроники успешное развитие в области цифровой трансформации должно начаться с НИОКР, ориентированных на оптимизацию процессов, разработку инновационных бизнес-моделей и анализ данных,

МНЕНИЕ ЭКСПЕРТА

Новая промышленная революция и так называемая Индустрия 4.0 – это те перспективы, которые стоят перед промышленно и экономически развитыми странами. Не секрет, что промышленность с каждой новой вехой технических усовершенствований позволяет достигать все более и более впечатляющих результатов. К примеру, внедрение роботизированной техники в производство позволит сэкономить на зарплатах специалистов, отчислениях налогов и повысить работоспособность фабрики, что в итоге снизит себестоимость изделия. Однако такая волна модернизации и роботизированные неоштрейкбрехеры могут поставить уволенных сотрудников в крайне тяжелую ситуацию, тем самым запустив другие социальные механизмы, которые напрямую и не связаны с роботизацией. Иными словами, внедрение интеллектуального производства и новых промышленных технологий – это уже свершившийся шаг, но к нему стоит более качественно подготовиться, а именно: модернизировать систему образования, изменить подход к решению социальных проблем и иными способами поддержать работника-человека. При таком подходе получается, что новая промышленная революция и Индустрия 4.0 приведут к расцвету социального направления в государственной политике, хотя, казалось бы, эти понятия абсолютно противоположны.

Никита Куликов, *учредитель АНО «ПравоРоботов», член экспертного совета по цифровой экономике и блокчейнам при Государственной Думе РФ*

поддерживающих цели и ценности бизнеса их заказчиков. Цифровизация также является критическим фактором для производителей в смысле ориентации на правильную клиентскую базу, повышение производительности, оптимизацию операций и создание новых возможностей получения дохода.

2. ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА БУДЕТ ОБЕСПЕЧИВАТЬСЯ МОЩНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ АНАЛИЗА ДАННЫХ

По мере того как разработка продукции ориентируется на меньшие объемы производства, фирмам-изготовителям требуется мощное ПО анализа данных для ускорения процессов принятия решений и решения проблем, улучшения интеграции между различными типами оборудования и улучшения эффективности управления предпринимательской деятельностью и планирования ресурсов на уровне бизнес-операций, маркетинга и обслуживания клиентов.

3. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ БУДЕТ СТИМУЛИРОВАТЬ РОСТ ДОХОДОВ

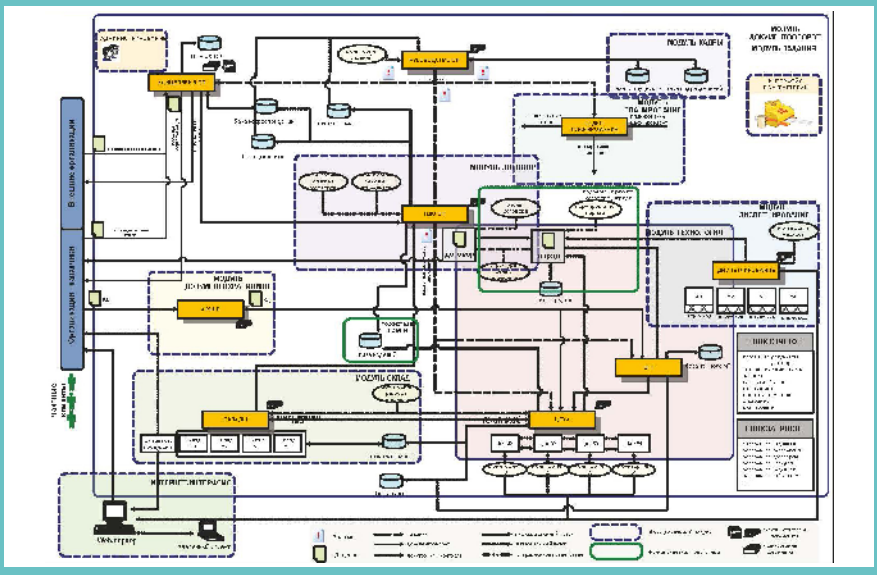
Две основные концепции интеллектуального производства – подключаемость и анализ данных. Они необходимы производителям не только для повышения эффективности управления объектами и планирования производственными линиями, но и как основной фактор сохранения нормального роста доходов.

Отмечается, что Тайвань, полупроводниковая промышленность которого представлена 130 фирмами и имеет длительную историю развития заводов по обработке пластин, обладает необходимыми ресурсами для помощи отрасли в развитии производства в условиях взрывного развития новых информационноемких технологий. Ведущие представители тайваньских фирм обсуждают начало совместных работ с SEMI по оказанию помощи промышленности в реализации всего потенциала интеллектуального производства.

С появлением новых информационноемких технологий, включая искусственный интеллект и Интернет вещей, новейшие производственные процессы, позволяющие увеличить выход годных и снизить издержки производства, будут становиться все более важными для производителей, желающих сохранить конкурентоспособность. Тайваньское отделение SEMI (SEMI Taiwan) намерено и дальше на регулярной основе проводить Форум по вопросам развития искусственного интеллекта и интеллектуального производства, собирая на него представителей отрасли, правительственных ведомств и научных кругов с целью рассмотрения критических тем развития интеллектуального производства.

Yi, Emmy. Smart Manufacturing Fuels Digital Transformation: Takeaways from SEMI Member Forum. Solid State Technology. The Pulse, February 2, 2018: http://electroiq.com/blog/2018/02/smart-manufacturing-fuels-digital-transformation-takeaways-from-semi-member-forum/

Информационная система управления предприятием «СМАРТ»



Информационная система управления предприятием «СМАРТ» создана на основе оригинальной технологии, предназначенной для решения сложных, многофункциональных задач. В основе технологии лежит база знаний, которая обеспечивает построение модели проблемной среды.

Внедрение системы «СМАРТ» позволяет комплексно автоматизировать весь цикл основных взаимосвязанных задач технической подготовки, производственного планирования и оперативного управления.

По вопросам внедрения системы «СМАРТ» на предприятии обращайтесь:

тел.: 8(495)940-65-00; e-mail: sb@instel.ru; http://www.instel.ru

Машинное обучение и проектирование ИС

Ключевые слова: ИС, искусственный интеллект, машинное обучение, многократно используемая интеллектуальная собственность, параллельная обработка, САПР.

Исследователи и поставщики микроэлектроники демонстрируют существенный прогресс в использовании методов машинного обучения для решения острых проблем проектирования современных ИС. Доклады по этой тематике и вопросам искусственного интеллекта заняли значительное место на состоявшейся недавно Конференции по проектированию ИС. В частности, это были доклады Центра разработки перспективной электроники с помощью машинного обучения (Center for Advanced Electronics through Machine Learning, CAEML).

На конференции по проектированию ИС в г. Сан-Франциско (февраль 2018 г.) большое внимание было уделено вопросам использования искусственного интеллекта в системах автоматизированного проектирования ИС. Специалисты группы CAEML отметили, что если ранее они в основном ориентировались на целостность сигнала и целостность мощности[12], то в настоящее время не меньше внимания уделяют системному анализу, проектированию топологии кристалла и верифицированным методам платформенного проектирования. Отмечается также значительный прогресс в области байесовских оптимизаций и сверточных нейронных сетей[13], относящихся к методикам DFM[14], таким образом, продемонстрированы возможности встраиваемых в процесс разработки методик обучения.

Однако разработка подобных моделей сталкивается с проблемой доступа к фирменным данным. Специалисты CAEML отмечают, что им удалось формализовать данные из открытых источников, но их обработка занимает много времени. В целях создания продуктов свободного использования CAEML в 2017 г. заключила соглашение с рядом поставщиков (Analog Devices, Cadence, Cisco, IBM, Nvidia, Qualcomm, Samsung и Xilinx). К открытым для обработки данным были отнесены такие области, как быстродействующие межсоединения, энергоснабжение, электростатический разряд системного уровня, многократно используемые ядра интеллектуальной собственности, проверка проектных норм.

Поставщики инструментальных средств САПР, такие как Cadence Design Systems, начали исследования в области машинного обучения в начале 1990-х гг. В 2013 г. Cadence выпустила продукт Virtuoso, используемый для глубинного анализа данных относительно извлечения сведений о паразитных явлениях, в целях создания моделей машинного обучения. К настоящему времени компания представила более 1,1 млн моделей машинного обучения для ускорения необходимых расчетов. На следующем этапе она намерена разработать средства на основе сочетания локальных и облачных систем параллельной обработки данных для оптимизации

и ускорения процессов проектирования (см. рисунок).

Представители TSMC заявили, что намерены использовать методы искусственного интеллекта при автоматизации конкретных схемных решений и технологического процесса проектирования в целом. Так, они намерены изучить возможности замены современных моделей проектирования на модели на основе искусственного интеллекта. За счет этого они попытаются ускорить процесс разработки, избежав ошибок синхронизации при моделировании аналоговых ИС. Предполагается заменить подход IBIS[15] при моделировании быстродействующих межсоединений.

Разработчики ИС при создании новых схем используют интеллектуальный анализ данных, статистическое обучение и другие инструментальные средства в дополнение к методам моделирования с помощью нейронных сетей, популяризируемых специалистами в области распознавания изображений таких фирм, как Amazon, Google и Facebook, а также поставщиками услуг по распознаванию (идентификации) голоса.

Специалисты Университета Северной Каролины сообщили об использовании суррогатных моделей при окончательной оптимизации моделей физического уровня. При этом число итераций снижено до четырех, по сравнению со стандартным подходом. Аналогичные методы используются при калибровке аналоговых ИС и формировании приемопередатчиков многоканальных межсоединений.

Разработчики Hewlett-Packard Enterprises (HPE) представили доклад об использовании нейронных сетей и классификаторов гиперплоскости для предсказания отказов в твердотельных накопителях на основе данных о напряжении, температуре и токе.

В рамках методик машинного обучения объем обучающих данных всегда был высоким. До сих пор используемые классификаторы были статическими, но дальнейшее развитие требует расширения подходов. В частности, за счет использования рекуррентных нейронных сетей, что позволит ввести дополнительные параметры и повысить точность обнаружения возможных системных сбоев [1].

Развитие информационных технологий тесно связано с нарастанием объема данных. Каждый технологический переход связан с появлением нового круга технических задач. Так, если в начале 2000-х гг. рекордом быстродействия была скорость передачи данных порядка

Источник: Cadence

Маршрутная карта корпорации Cadence Design Systems по разработке инструментальных средств САПР с использованием методов искусственного интеллекта

1 Гбит/с, то сегодня речь идет в среднем о 112 Гбит/с, и это не предел..

На каждом этапе наращивания скорости передачи данных возникают новые проблемы в области целостности сигнала (signal integrity, SI), целостности мощности (power integrity, PI) и электромагнитных помех (electromagnetic interference, EMI). Специалистам, проектирующим новые быстродействующие цифровые системы, приходится иметь в виду все три фактора. Появление и освоение методик искусственного интеллекта и виртуальной реальности порождают новые сложности, в том числе в области человеко-машинных интерфейсов и интерфейсов типа «мозг–компьютер»[17].

Одна из серьезных проблем – недостаток обучающего и контрольно-измерительного оборудования системного уровня. Относительно вопроса целостности мощности отмечается необходимость интеграции DC/DC преобразователей непосредственно в корпуса ИС. Благодаря этому можно добиться уменьшения полного электрического сопротивления и потерь мощности, а также отказа от блокировочных конденсаторов. Еще одна проблема – избежание перекрестных помех различных приборов (например, радаров, Wi-Fi- и Bluetooth-приборов в автомобилях) [2].

На конференции по проектированию ИС одной из тем обсуждения стал «закон Мура»[18] – продолжает он действовать или нет? По крайней мере, представители корпорации ARM отметили удлинение цикла проектирования – на переход от 16-нм к 10-нм топологиям понадобилось три года, а энергетические преимущества масштабирования Деннарда[19] остались на уровне 90-нм топологий.

Представители корпорации Intel отметили, что при переходе к 5-нм технологиям они не видят причин прекращения действия «закона Мура» – существующий спрос на новейшие технологические процессы и использование методов искусственного интеллекта для продолжения масштабирования ИС обеспечивают его дальнейшее действие. На 5-нм топологиях начинается использование таких элементов, как вертикальные нанопроволоки, что отражается на RTL-конструкциях, особенно в быстродействующих ИС. Ожидаются дальнейшие инновации в области конвейеров, транзисторов и межсоединений, особенно по схемам устройств ввода–вывода. Тем не менее, возможный переход к структурам толщиной всего в атом существенно усложняет процессы управления – за счет приближения к физическим ограничениям возможностей структур.

Представители AMD, ARM и Intel пришли к общему мнению, что замедление действия «закона Мура» может быть преодолено за счет разработки новых вычислительных архитектур и архитектур памяти. Кроме того, значительную роль могут сыграть новейшие решения в области корпусирования, включая предельно дешевые версии.

Сочетание новых архитектур сетей, искусственного интеллекта и архитектур памяти открывают перед проектировщиками ИС новые возможности. Десять крупнейших фирм, специализирующихся на технологиях центров хранения и обработки данных, такие как Apple, Alibaba и Amazon, создали собственные группы разработки микроэлектронных решений. В частности, их цель – создание новой архитектуры безопасного проектирования, а также борьба с хакерскими атаками. Подчеркивается, что индустрия информационных технологий в целях дальнейшего развития должна расширять сотрудничество в области повышения безопасности, обеспечения большей защищенности систем на уровне «строительных блоков», что требует большого объема инвестиций [3].

1. *Merritt, Rick. AI Expands Role in Design. EE Times, January 31, 2018: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1332917* ***2.*** *Rowe, Martin. DesignCon: SI, PI, EMI Have a Future Together. EE Times, February 2, 2018: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1332927* ***3.*** *Merritt, Rick. Chip Heads Gauge Silicon Roadmap. EE Times, February 1, 2018: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1332925*

Факторы роста рынка микропроцессоров – мобильные SoC и встроенная обработка данных

Ключевые слова: микропроцессор, отгрузки, ПК, планшет, продажи, сотовые телефоны, суперкомпьютеры.

На рынке микропроцессоров продолжаются существенные изменения. Благодаря тому, что отгрузки смартфонов и планшетных ПК значительно превысили отгрузки традиционных ПК, изменилось и соотношение отгрузок процессоров для них. Так, на микропроцессоры планшетных ПК и смартфонов в 2018 г. придется 1,8 млрд шт. из общих отгрузок в 2,6 млрд шт. Соответственно, изменяется соотношение поставщиков микропроцессоров и используемых архитектур.

Микропроцессоры появились в начале 1970-х гг. как 4-разрядные вычислительные приборы калькуляторов. По прошествии 40 с лишним лет они превратились в одну из самых сложных интегральных схем современного рынка. Мощные микропроцессоры эволюционировали в многоядерные 64-разрядные конструкции с высоким параллелизмом, содержащие все функции центрального процессора компьютера, а также растущее число функций системного уровня, блоков ускорителей графики, видео и новых областей использования искусственного интеллекта. Микропроцессоры – «мозг» персональных компьютеров, серверов и суперкомпьютеров. Они также используются для встроенной обработки в широком диапазоне электронных систем, таких как сетевое оборудование, компьютерная периферия, телевизоры, телевизионные приставки, игровые консоли, носимая электроника[20] и приложения Интернета вещей. По последним оценкам корпорации IC Insights, за последние пять лет конструкции мобильных «систем-на-кристалле» (SoC) для планшетных ПК и обрабатывающих данные смартфонов, а также микропроцессоры, используемые в применениях встроенной обработки данных, стали наиболее динамично развивающимися типами микропроцессоров. Действительно, по этим позициям продажи с 2012 по 2017 г. увеличились в 1,57 и 1,79 раз соответственно, в то время как аналогичный показатель для центральных процессоров ПК, серверов и т.п. – только в 1,05 раза (рис. 1).

По оценкам IC Insights, в 2018 г. около 51% продаж микропроцессоров будет приходиться на все типы приборов, используемых в качестве центрального процессора в стандартных ПК, серверах и больших компьютерах (мейнфреймы, суперкомпьютеры) (рис. 2). К сектору микропроцессоров сотовых телефонов и планшетных ПК не относятся процессоры канала прямой (безмодуляционной) передачи сигнала, поддерживающие высокоскоростную передачу данных в сотовых сетях и учитываемые в сегменте беспроводных средств связи категории логических ИС специального назначения. С точки зрения архитектуры на x86-микропроцессоры для компьютерных центральных процессоров приходится чуть больше половины

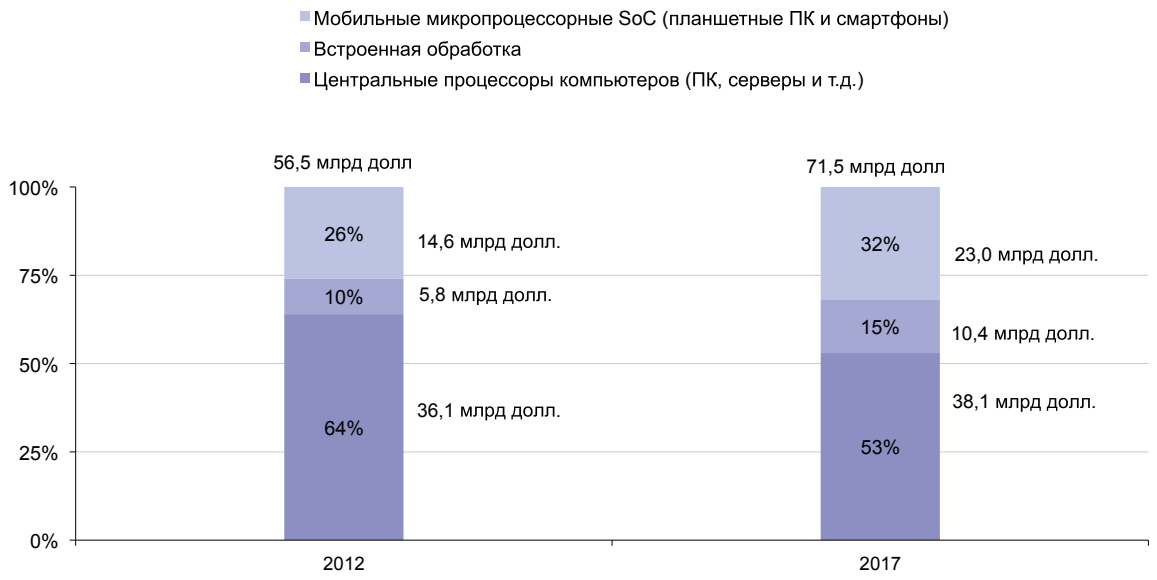


Рисунок 1. Изменение структуры продаж микропроцессоров по типам

продаж микропроцессоров в целом. Основные поставщики этих приборов – корпорации Intel и Advanced Micro Devices.

SoC процессоров сотовых телефонов и планшетных ПК были основными движущими факторами роста рынка микропроцессоров в первой половине текущего десятилетия, но с 2015 г. началось замедление темпов прироста их продаж. Насыщение рынка и «взросление» сегмента смартфонов почти остановили рост отгрузок сотовых телефонов в натуральном выражении. Отгрузки прикладных процессоров сотовых телефонов в 2016–2017 гг. были вялыми, а в 2018 г. ожидается их увеличение всего на 0,3%. Однако при этом будет достигнут рекордный показатель отгрузок – 1,8 млрд шт.

В структуре рынка с разбиением на производителей по-прежнему доминирует крупнейший производитель ИС – корпорация Intel (по итогам 2017 г.

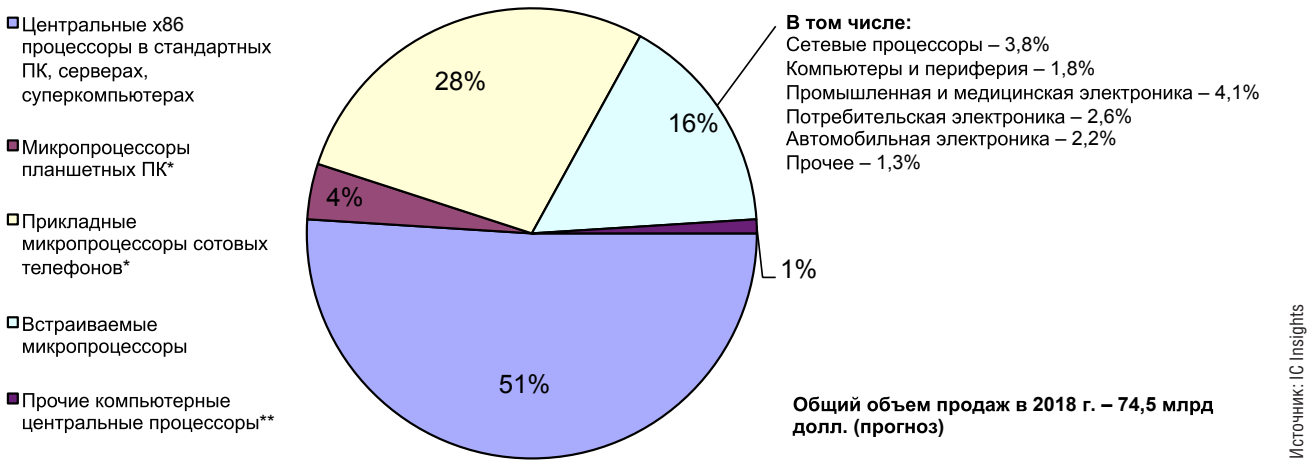


Рисунок 2. Прогноз структуры продаж микропроцессоров по типам в 2018 г.

* Включая процессоры на ядрах ARM и другие x86 процессоры.
** Включая процессоры на ядрах ARM и другие RISC-процессоры.

крупнейшим производителем полупроводниковых приборов стала корпорация Samsung). В течение длительного времени за последнее десятилетие доля корпорации Intel превышала 75%. Однако в последнее время она опустилась ниже 60%. Это объясняется устойчивым ростом продаж сотовых телефонов и планшетных ПК, в которых используются SoC процессоров на основе ядер ARM. Более 20 лет Intel конкурировала на огромном рынке микропроцессоров практически только с одним соперником – AMD, которая являлась вторым основным поставщиком x86-процессоров. Тем не менее растущее использование смартфонов и планшетных ПК, облегчение и расширение доступа к Интернету различных приложений вызвали сдвиг парадигмы в средствах персональных вычислений в сторону «пост-ПК эры».

В текущем году AMD намерена продолжать активные усилия по восстановлению своей доли на рынке x86 серверных процессоров, начатые в 2017 г. выпуском на рынок микропроцессоров с высоким параллелизмом, реализованным на основе новой фирменной микроархитектуры Zen. В ответ Intel увеличила число 64-разрядных x86 центральных процессоров в своих процессорах семейства Xeon. Кроме того, корпорации Intel, AMD, Nvidia, Qualcomm и другие все больше внимания уделяют ускорителям процессоров и сопроцессоров для машинного обучения искусственного интеллекта в серверах, платформах персональных вычислительных средств, смартфонах и средствах встроенной обработки данных.

По данным IC Insights, в 2018 г. рынок микропроцессоров в целом увеличится на 4% (до 74,5 млрд долл.) вслед за ростом на 5% в 2017 и на 9% в 2016-м. В период до 2022 г. CAGR[21] микропроцессоров составит 3,4%. Отгрузки микропроцессоров в 2018 г. увеличатся (как и в 2017 г.) на 2%, достигнув уровня в 2,6 млрд шт. CAGR отгрузок до 2022 г. будет находиться на уровне 2,1% (т.е. ожидается рост средних продажных цен).

Mobile System-On-Chip Designs, Embedded Processing Lift MPU Market. Solid State Technology. MEMS Direct, February 7, 2018: http://electroiq.com/blog/2018/02/mobile-system-on-chip-designs-embedded-processing-lift-mpu-market/

Журнал «Радиопромышленность»

Журнал «Радиопромышленность» – междисциплинарный научный рецензируемый журнал.
Издается с 1968 г.
Периодичность: 4 номера в год.
Сайт: WWW.RADIOPROM.ORG.
Включен в Перечень ВАК.
Индексирование: РИНЦ, Google Scholar, EBSCO.

Тематика журнала: полный спектр теоретических и прикладных научных разработок в радиопромышленности – от проблем передачи сигнала до экономических вопросов.

WWW.RADIOPROM.ORG – это:

- двуязычный сайт журнала «Радиопромышленность»;
- архив научных статей;
- удобная система поиска;
- возможность электронной подачи авторских материалов;
- доступ к электронной версии журнала.

Рентабельность инвестиций и Интернет вещей

Ключевые слова: аппаратное обеспечение, венчурное финансирование, Интернет вещей, платежные узлы, прибор отслеживания активов и имущества, рентабельность инвестиций.

Развитие Интернета вещей тесно связано со стандартами используемого в них аппаратного оборудования. Сейчас основными являются такие стандарты, как узкополосный Интернет вещей и LoRa. С большим отставанием по используемости за ними идет стандарт Sigfox, развиваемый одноименной фирмой на венчурные инвестиции. Для дальнейшего развития и вообще существования компания Sigfox уже в 2018 г. должна приступить к выплатам своим инвесторам. Для этого необходимо удешевить приемопередатчики и способствовать их большему распространению

Фирма Sigfox (г. Тулуза, Франция), поставщик сетевого оборудования Интернета вещей и одноименного формата сетей, попала в интересное положение – получив за пять раундов венчурного финансирования около 150 млн долл., она уже к концу 2018 г. должна начать расплачиваться с инвесторами. Для достижения этой цели Sigfox необходимо увеличить число платежных узлов в сетях своего имени до 10 млн шт. по сравнению с 4 млн на конец января текущего года. Sigfox считается одной из самых дешевых сетей Интернета вещей.

Сегодня аппаратные средства связи Sigfox стоят от 1,2 до 2 долл., по сравнению с 12 долл. несколько лет назад. Выручка компании в основном связана с тарифами на подключение – от 5 до 6 долл. за устройство в год для пользователей сетей, содержащих не менее 10,0 тыс. узлов.

В прошлом году Sigfox продемонстрировала конструкцию, которая может позволить снизить цену приемопередатчика до 20 центов или менее. Соответственно, для операторов Интернета вещей с 1 млн узлов и более плата за соединение Sigfox уже снизилась до 1 долл. с прибора за год. Иначе говоря, фирма пытается максимально снизить цену на свое аппаратное обеспечение и тарифы с целью дальнейшего развертывания сети по всему миру.

По оценкам исследовательской фирмы IHS Markit, Sigfox представляет собой недорогую версию сети LTE, отгрузки ее модулей за 2017 г. составили менее 9,0 тыс. шт. Эта сеть по своему распространению находится на третьем месте, но далеко отстает от более удачливых конкурентов – LoRa и узкополосного Интернета вещей (NB-IoT). К 2021 г. объем ежегодных подключений может увеличиться в 10 раз, но отставание от соперников не сократится. Аппаратное обеспечение Sigfox изготавливает одна фирма, сама технология запатентована, в то время как узкополосный Интернет вещей и LoRa основаны на открытых стандартах, а аппаратное обеспечение для них производит несколько поставщиков.

В ЦЕНТРЕ ВНИМАНИЯ: SIGFOX

Sigfox – французская акционерная компания, производящая беспроводные сети для подключения объектов с низкой потребляемой мощностью (счетчики электроэнергии, датчики и т.п. интеллектуальные устройства), передающие небольшие объемы данных.

Дата основания: 2009 г.
Доход: 5 млн евро (2015 г.)
Штаб-квартира: г. Лабеж, Франция.
Лозунг компании: Пусть вещи оживают (Make Things Come Alive).
Количество сотрудников: 190 чел.

Технологические решения

Патентованная технология и протокол Sigfox с использованием подхода Ultra Narrow Band (UNB) предназначены для связи на низких скоростях передачи данных с использованием радиочастотного диапазона ISM (Industrial, Scientific и Medical) на 868 МГц в Европе и 902 МГц в США. Подобная связь потребляет мало энергии, формируемые на ее основе сети именуются «энергоэффективными глобальными сетями» (low-power wide-area network, LPWAN). Сеть основана на топологии с одним хостом и требует от оператора мобильной связи переноса генерируемого трафика. Сигнал также может использоваться для легкого охвата больших площадей и достижения подземных объектов.

Партнеры

Sigfox сотрудничает с рядом фирм, работающих в области LPWAN, таких как Texas Instruments, Silicon Labs и ON Semiconductor. Радиодиапазоны ISM поддерживают ограниченную двунаправленную связь. Существующий стандарт для Sigfox-коммуникаций поддерживает до 140 сообщений порта Uplink (восходящий канал «Земля–спутник) в день, каждое из которых может нести полезную нагрузку в 12 байт (исключая заголовок сообщения и информацию о передаче) и до четырех сообщений нисходящей линии связи в день, каждое из которых может нести полезную нагрузку 8 байт.

Текущая деятельность

Sigfox развертывает выделенную сеть с маломощным решением для подключений, уже охватывающую 32 страны. Также компания предлагает различные товары, например готовые к установке датчики контроля качества воздуха. Датчики Sigfox отличаются низкой стоимостью эксплуатации. В некоторых охваченных сетью фирмы странах они устанавливаются, в частности, на общественный транспорт, что позволяет создавать интерактивное отображение загрязнения воздуха в реальном масштабе времени и улучшать прогноз загрязнения с помощью машинного обучения.

Руководство Sigfox отмечает, что у фирмы заключено около 500 контрактов с вертикально организованными структурами, но это в основном услуги по обеспечению безопасности грузов и отслеживании активов (контейнеры, поддоны, автомобили, багаж и т. п.). Недорогие приемопередающие приборы с батарейным питанием могут приносить до 5–6 долл. в год, но важно их количество – отдача в Интернете вещей напрямую зависит от массовости парка задействованного аппаратного обеспечения.

Представители конкурентов согласны с такой оценкой. Один из разработчиков стандарта LoRa намерен создать собственный стартап по выпуску аппаратного обеспечения для потребительского и коммерческого секторов Интернета вещей уже в этом году. Еще один сторонник технологии LoRa, фирма Semtech, представила малую энергоэффективную версию приемопередатчика, но цена владения новыми приборами требует снижения.

В рамках борьбы за выживание Sigfox в январе 2018 г. заключил две крупные сделки. Первая связана с развертыванием в 20 городах КНР сети по уходу за пожилыми людьми, разработанной на основе решения французского стартапа Seniordom (испытание сети на 1500 человек, длившееся год, уже завершено). Правительство города субпровинциального значения Чэнду (административный центр провинции Сычуань) выделило на развертывание сети Sigfox 300 млн евро.

Вторая сделка касается четырех стран Центральной и Южной Америки – местные компании будут выступать в качестве эксклюзивных операторов сети Sigfox. В настоящее время в регионе насчитывается девять операторов-партнеров, в том числе один в Мексике.

Компания Sigfox надеется на партнерство с рядом поставщиков датчиков, таких как STMicroelectronics. Предполагается, что они к концу текущего года начнут встраивать ультрадешевые передатчики в свои ИС. Кроме того, Sigfox начал предлагать свои конструкции приемопередатчиков (без лицензионных платежей) любым заинтересованным производителям ИС. Действительно – что может быть проще? Схема из двух транзисторов и нескольких пассивных компонентов. Это при том, что ядро ARM Cortex M0, содержащее миллионы транзисторов, может стоить всего 50 центов. Соответственно, создание приемопередатчика Sigfox с максимальной ценой в 20 центов вполне реально.

Некая неназываемая южнокорейская фирма уже интегрировала существующий приемопередатчик Sigfox в свои LTE-M-модули как своего рода резервную сеть. Работа была выполнена в течение месяца, для сопряжения приборов потребовалось всего 200 строк нового кода. Таким образом было продемонстрировано, что более простая конструкция создаваемого приемопередатчика за 20 центов может быть встроена в материнские платы лэптопов и многих других продуктов в качестве встроенного прибора отслеживания ресурсов и имущества.

Тем не менее, по оценкам отраслевых специалистов, шансы на выживание и развитие Sigfox – как фирмы, так и технологии – туманны. Соответственно, непонятно, получат ли инвесторы компании прибыль на инвестированный капитал.

Merritt, Rick. Sigfox Founder Seeks ROI in IoT. EE Times, February 8, 2018: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1332949

Автоматизирован процесс проектирования материалов с заданными свойствами

Ключевые слова: проектирование материалов, микроструктуры, программные средства моделирования.

В лаборатории компьютерных наук и искусственного интеллекта Массачусетского технологического института разработали новую систему, способную создавать микроструктуры материалов в соответствии с заданными свойствами.

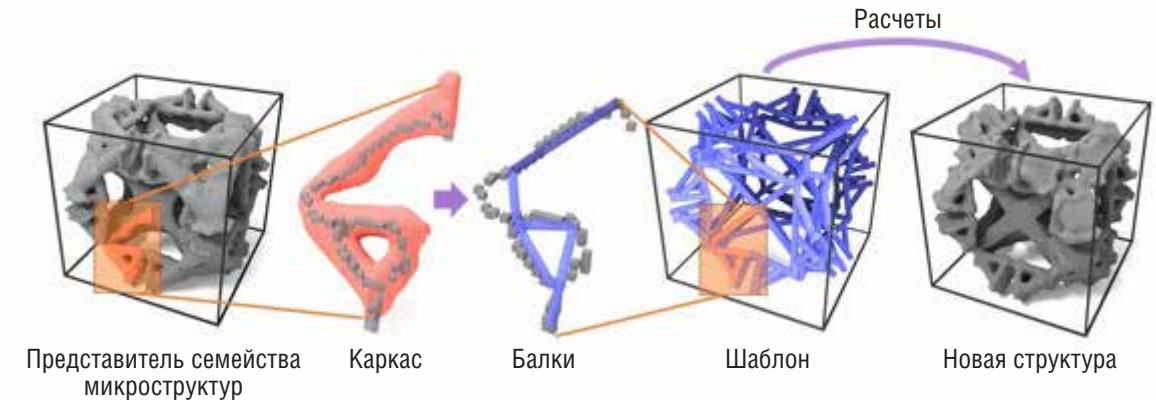
В новом исследовании, опубликованном в январе 2018 г. в журнале Science Advances, разработанной системе задавали значения трех механических свойств, и на основе указанных параметров она создавала оптимальный вариант микроструктуры. Ученые заявляют, что их система способна выполнять и более сложные задачи, связанные не только с механическими, но и тепловыми, оптическими и электромагнитными свойствами. Фактически данная работа решает проблему автоматизации процесса выбора оптимальной структуры для метаматериалов.

Для проведения исследования еще летом 2017 г. с помощью специализированных программных средств были рассчитаны компьютерные модели микроструктур на основе измерений трех-четырех механических свойств. В результате было получено облако точек в трех- или четырехмерном пространстве, в котором каждая точка соответствовала определенной микроструктуре.

Когда облако достигло достаточной плотности, для него была вычислена ограничивающая поверхность. При этом точки, находящиеся рядом с ограничивающей поверхностью, соответствовали оптимальному сочетанию значений механических свойств. Иными словами, для них было бы невозможно увеличить значение одного из свойств без снижения значений других.

На новом этапе исследования ученые сосредоточились на выявлении геометрического подобия у тех микроструктур, которые соответствуют точкам, находящимся вблизи ограничительной поверхности. Таким образом, микроструктуры были разделены на кластеры. Для каждого кластера был выделен каркас на основе простой формы, характерной для всех входящих в его состав микроструктур. Затем осуществлялась точная настройка каркаса для воспроизведения первоначальных микроструктур путем конструирования блоков.

Создание каркаса, а также определение размера, местоположения и ориентации блоков контролировались управляемым числом переменных. Фактически с помощью разработанной системы возможно вывести математическую формулу для воспроизведения



Источник: MIT News

Основные этапы проектирования

каждой микроструктуры в кластере. Затем с помощью технологий машинного обучения была проведена корреляция между определенными значениями переменных в формуле и результатами измерений значений свойств вновь созданных микроструктур.

Каждый шаг проведенного исследования был полностью автоматизирован, включая этапы по определению геометрического подобия, кластеризации, выделению каркаса, выведению формулы, установлению взаимосвязей между формой и свойствами. Таким образом, разработанная система вполне применима для расчета самых различных микроструктур (как уже существующих в природе, так и вновь созданных) по любым параметрам, что позволяет решать актуальные задачи в области проектирования материалов.

К сожалению, ученым пока не удалось автоматизировать процесс идентификации физических механизмов, которые определяют свойства микроструктур. Темой дальнейшего исследования станет выявление реакции каркасов различных семейств микроструктур на воздействие физических сил, приложенных под разными углами. Таким образом, в будущем программные средства моделирования будут использоваться не только для определения свойств микроструктур, но и для выявления их наиболее уязвимых к деформации элементов.

Hardesty, Larry. Automating Materials Design. MIT News Office, February 2, 2018: http://news.mit.edu/2018/automating-materials-design-0202

Разработан кардиостимулятор с беспроводным питанием

Ключевые слова: электронные кардиостимуляторы и дефибрилляторы, беспроводное питание.

В будущем в случаях отклонения сердечного ритма от нормы его можно будет скорректировать с помощью крошечного электронного устройства, имплантируемого прямо в сердце и, в отличие от традиционных кардиостимуляторов и дефибрилляторов, не имеющего проводов. Разработка стала результатом совместного исследования специалистов Университета Райса, Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе и Техасского института сердца (США).

Новый кардиостимулятор получает энергию при помощи беспроводных технологий и телеметрии: волны СВЧ-диапазона испускаются внешней батареей, которая находится за пределами человеческого тела на расстоянии до 6 м. Принцип действия схож с тем, который используется для беспроводной зарядки смартфонов. Сердечный ритм контролируется путем увеличения и уменьшения энергии, передающейся на приемную антенну чипа. Ширина ИС кардиостимулятора составляет менее 4 мм.

Традиционные кардиостимуляторы и дефибрилляторы имплантируются рядом с сердцем, с которым соединяются с помощью проводника. При обнаружении нарушения сердечного ритма устройство производит электрический разряд, который зачастую связан с болью и стрессом для пациента. Новый кардиостимулятор будет стимулировать сердце при помощи сигналов с меньшим напряжением, благодаря чему использующие его люди будут избавлены от дискомфорта. Кроме того, его применение позволит избежать ряда побочных эффектов – например, кровотечений и инфекционных заражений.

В традиционных устройствах длительное соприкосновение проводника с бьющимся сердцем постепенно приводит к разрушению изоляции. В новой разработке проводник отсутствует. И хотя ранее другими специалистами уже создавались модели кардиостимуляторов без проводника, способные устранить основные проблемы традиционных устройств для контроля сердечного ритма, предыдущие варианты не обладали способностью осуществлять двухкамерное или бивентрикулярное стимулирование.

Новое устройство уже было протестировано на свинье, чей сердечный ритм под его воздействием изменялся в диапазоне от 100 до 172 ударов в минуту. В дальнейшем планируется продолжить эксперименты на животных, а после их успешного завершения предложить использовать стимулятор пациентам, недавно перенесшим хирургическое вмешательство, связанное с заменой сердечного клапана.

Hall, Christine. Solutions: Small Device Promises Big Fix. TMC News, February 7, 2018: http://www.tmc.edu/news/2018/02/solutions-small-device-promises-big-fix/

МНЕНИЕ ЭКСПЕРТА

Миниатюризация беспроводных устройств, возможность их прямой имплантации в орган, использование «беспроводной зарядки» и более длительный срок эксплуатации – это, конечно, огромный шаг вперед. Если после тестирования на людях будут достигнуты положительные результаты, то следующим шагом должно стать постепенное снижение стоимости, что сделало бы устройство доступным различным категориям пациентов, перенесших операцию по замене сердечного клапана.

Однако следует учитывать тот факт, что предлагаемая система не является «замкнутой», и сигналы в организм человека поступают извне. Это означает риски случайного или, что еще хуже, сознательного вмешательства в передачу электромагнитных сигналов, например с целью значительного превышения их мощности. Последствия этого могут быть самыми драматическими. И в этой связи хотелось бы упомянуть два факта.

Еще в 2016 эксперты компании MedSec сообщали, что кардиостимуляторы и кардиодефибрилляторы компании St. Jude Medical (ныне Abbott) содержат многочисленные уязвимости, которые несут потенциальную угрозу здоровью, а возможно – и жизни пациентов. При этом сам производитель – компания St. Jude Medical – решительно опровергала данные сообщения. И только после вмешательства FDA (Food and Drug Administration, Управление по контролю качества продуктов и лекарств США) было установлено, что риски реальные, и почти 500 000 пациентов в 2017 г. было предложено пройти процедуру обновления программного обеспечения после сертификации FDA выпущенной Abbott «заплатки» на ПО. Эксперты по информационной безопасности считают, что атаки на кардиостимуляторы и другие медицинские устройства в самом скором будущем могут стать настоящей золотой жилой для вымогателей и шантажистов, которые могут атаковать не только пациентов, но и производителей подобных устройств, а также сами медицинские информационные системы. В этой связи необходимо обратить внимание на статистику, приводимую компанией InfoWatch, за первое полугодие 2017 г.: 17% инцидентов утечки информации пришлось на медицинские организации, а по доле целевых утечек информации в 49% случаев сфера здравоохранения вошла в топ-3. В 2016 г. более 50% IT-затрат медицинских организаций в ЕС приходилось на обеспечение информационной безопасности. И несмотря на это, весной 2017 г. вирус WannaCry атаковал в том числе Национальную систему здравоохранения (NHS) Великобритании, из-за чего многие медицинские учреждения объявили, что будут принимать только экстренных пациентов.

Поэтому при разработке носимых беспроводных устройств необходимо руководствоваться принципом «не навреди» в квадрате, с учетом качественного и количественного роста степеней риска.

Александр Антипов, *директор по развитию бизнеса компании «Ай-ФОРС» (ГК ФОРС)*

Сверхпроводящая система ASG Superconductors защищает электрокоммуникации

Ключевые слова: сверхпроводящий ограничитель тока, индуктивная система, ограничитель коротких замыканий, криогенные жидкости, сверхпроводниковая технология.

Ограничитель короткого замыкания, разработанный итальянской компанией ASG Superconductors (ASG), позволит коммунальным сетям справляться с увеличением производства энергии из возобновляемых источников, облегчая их подключение к линиям электроснабжения и уменьшая риски, связанные с возможными перебоями из-за неисправностей. В устройстве используется провод на основе диборида магния MgB_2, создать который компании помог накопленный опыт в разработке и производстве магнитов, применяющихся для исследований в области физики элементарных частиц.

Разработанный ASG сверхпроводящий ограничитель тока (superconducting fault current limiter, SFCL), продемонстрировал полную работоспособность. Устройство мощностью 36 кВт было испытано в независимых лабораториях IPH в Берлине в условиях короткого замыкания, более тяжелых, чем те, которые типичны для реальных электрических сетей.

В устройстве используется новый сверхпроводящий провод на основе диборида магния MgB_2 – это индуктивная система, действующая как компонент переменного сопротивления. В рабочих условиях устройство полностью «неви-

Источник: www.asgsuperconductors.com

В ЦЕНТРЕ ВНИМАНИЯ: ASG SUPERCONDUCTORS

ASG Superconductors – итальянская компания по разработке и производству электромагнитов, соленоидов, оборудования для регулирования и контроля температуры (терморегуляторы, термоконтроллеры, криогенные и низкотемпературные регуляторы).

Дата основания: 2001 г.
Штаб-квартира: г. Генуя, Италия.
Филиал: г. Специя, Италия.
Численность сотрудников: 249 чел.
Партнеры: CNIM, Iberdrola Ingeneria, Elytt Energy, ICAS, CERN.

Основные виды продукции:

- электромагниты для ядерной энергетики;
- электромагниты для научно-исследовательской работы;
- электромагниты для топливно-энергетического комплекса.

Компания ASG Superconductors имеет долгий опыт сотрудничества с Европейским центром ядерных исследований (ЦЕРН). В настоящее время компания занимается производством большого магнита для MPD – одной из двух крупнейших установок комплекса NICA, – предназначенного для создания в апертуре коллайдера однородного магнитного поля. Конструкция магнита и его рабочие характеристики подбираются так, чтобы обеспечить высокую точность трекинга.

димо» для сети, что позволяет избегать помех, однако при возникновении короткого замыкания оно мгновенно и автоматически ограничивает ток повреждения.

Устройство работает при полном отсутствии криогенных жидкостей, имеющих важнейшее значение в традиционных решениях, благодаря чему снижается потребность в его обслуживании. Использование сверхпроводящего провода на основе MgB_2 также повышает эффективность устройства по сравнению с традиционными вариантами за счет более низкого потребления электричества.

Уникальная сверхпроводниковая технология, позволяющая устройству SFCL работать постоянно даже после короткого замыкания и восстанавливаться в течение нескольких миллисекунд, дает возможность коммунальным предприятиям значительно сократить затраты на восстановление поврежденных сетей при коротком замыкании, что также положительно отражается на экономической эффективности.

Индуктивная технология позволяет увеличивать значения рабочего напряжения устройства SFCL без изменения основных принципов его работы. Помимо устройства мощностью 36 кВт ASG уже разработала устройство мощностью 123 кВт, пригодное для работы в системах контроля критических ситуаций сетей электроснабжения в большинстве европейских стран.

Dirjish, Mathew. Superconductive System Protects Electrical Utilities. Sensors Online, February 9, 2018: https://www.sensorsmag.com/components/superconductive-system-protects-electrical-utilities

ГЛОССАРИЙ

[1] **Унаследованные устройства (legacy device, также legacy database, software, systems)** – устройства (приложения, базы данных, ПО, системы), устаревшие, но все еще эксплуатируемые из-за того, что при проектировании применений с их участием не были заложены возможности перестройки.

[2] **Fabless (от FABricationLESS)** – тип организации полупроводникового бизнеса, при котором фирма занимается только разработкой, проектированием и маркетингом ИС, а само изготовление осуществляется на мощностях кремниевых заводов или свободных мощностях традиционных фирм (IDM).

[3] **Кремниевый завод (foundry)** – производство ИС по спецификациям заказчика с предоставлением широкого спектра услуг по использованию инструментальных средств фирм-союзников из числа поставщиков САПР, баз библиотек стандартных элементов различных fabless- и IDM-фирм (по контрактам foundry с последними), платформ и сложнофункциональных блоков (на тех же условиях) для проектирования ИС.

[4] **SEMI (Semiconductor Equipment and Material International)** – Международная организация поставщиков оборудования и материалов для производства полупроводниковых приборов.

[5] **8K** – обозначение разрешающей способности в цифровом кинематографе и компьютерной графике, приблизительно соответствующее 8000 пикселей по горизонтали. 8K рассматривается как преемник разрешения 4K.

[6] **IDM (integrated device manufacturers)** – интегрированные изготовители приборов; традиционные полупроводниковые фирмы полного цикла – разработка, проектирование, производство и маркетинг ИС.

[7] **FinFET** – полевой МОП-транзистор с двумя изолированными затворами, созданный на КНИ-подложке, характеризуется меньшим временем переключения и большей плотностью тока, чем широко распространенная КМОП-технология с планарными структурами. Затвор расположен на двух, трех или четырех сторонах канала или окружает канал, формируя таким образом структуру двойного затвора. Свое название эти приборы получили из-за того, что форма области истока и стока на поверхности кремния напоминает спинной плавник рыбы (fin).

[8] **MEOL/MEWP (middle-end-of-line/middle-end wafer process)** – промежуточные этапы обработки пластины при изготовлении 2,5- и 3-мерных ИС с формированием TSV или без него. Включают временное прикрепление пластины-носителя после окончательной металлизации, утонение пластины, формирование и выявление TSV, наращивание микроконтактных площадок, формирование линий с перераспределенными параметрами (RLD) и открепление пластины-носителя.

[9] **BEOL (back-end-of-line)** – завершающие операции обработки полупроводниковых пластин, включая металлизацию.

[10] **EUV (extreme ultraviolet)** – наиболее коротковолновая часть ультрафиолетовой области спектра. Длина волны излучения EUV-степперов – 13,5 нм.

[11] **Industry 4.0 (the fourth industrial revolution)** – 4-я промышленная революция, ожидаемое массовое внедрение киберфизических систем в производство и обслуживание человеческих потребностей, включая быт, труд и досуг. Производственная сторона, эквивалентная ориентированному на потребителей «Интернету вещей». Один из суще-

ственных аспектов Industry 4.0 – идея «сервисориентированного проектирования» (от пользователей, использующих заводские настройки для производства собственных продуктов, до компаний, которые поставляют индивидуальные продукты индивидуальным потребителям).

[12] **Целостность мощности (power integrity)** – метод анализа проверки соответствия желательного напряжения силе тока от входа до выхода схемы. Один из основных показателей работоспособности электронных продуктов.

[13] **Сверточная нейронная сеть (convolutional neural network, CNN)** – специальная архитектура искусственных нейронных сетей, нацеленная на эффективное распознавание изображений, входит в состав технологий глубокого обучения.

[14] **DFM (design-for-manufacturing)** – проектирование с обеспечением возможности непосредственного внедрения изделия в производство (с точки зрения выхода годных, качества продукции и др.).

[15] **IBIS (input/output buffer information specification)** – спецификация метода поставщиков ИС относительно предоставления информации о буферах ввода–вывода данных потенциальным клиентам без выявления интеллектуальной собственности их реализации и без необходимости использования собственных ключей шифрования.

[16] **Горячая точка (hot spot, hotspot)** – точка работающей электронной схемы с максимальной температурой.

[17] **Интерфейс «мозг–компьютер» (brain-computer interface, BCI)** – обеспечивает прямую связь между мозгом человека и устройством, которое по электрической активности мозга управляет теми или иными действиями человека. Технология находится в стадии активного развития.

[18] **Закон Мура (Moore's law)** – эмпирическое наблюдение, а не природный (физический) закон, сформулированное в конце 1970-х гг. Гордоном Муром, одним из основателей и ведущих специалистов корпорации Intel. Согласно ему удвоение числа транзисторов на кристалле происходит каждые 1,5–2 года без увеличения удельной стоимости функций для конечного потребителя.

[19] **Масштабирование Деннарда (Dennard scalling)** – «правила», сформировавшие основу «закона Мура», и предполагавшие, что напряжение и ток должны быть пропорциональны линейным размерам транзистора – таким образом, потребляемая мощность (производное напряжения и тока) будет пропорциональна площади транзистора, и масштабирование МОП-полевых транзисторов должно приводить к меньшему потреблению мощности. Роберт Деннард (род. 05.09.1932) – американский ученый и изобретатель в области микроэлектроники (изобрел в 1968 г. ДОЗУ и предсказал значительный потенциал масштабирования МОП-полевых транзисторов). В 1974 г. вывел постулат, что МОП-полевые транзисторы будут продолжать функционировать как управляемые напряжением переключатели, по мере того как все их основные параметры – плотность топологии, быстродействие и энергоэффективность – будут улучшаться (при масштабировании геометрических размеров, напряжения и концентрации легирующих примесей с целью сохранения одного и того же электрического поля).

[20] **Носимые устройства (wearable electronics, wearables)** – миниатюрные электронные приборы, предназначенные для постоянного ношения человеком, например микродисплей, встроенный в очки, или датчики и другие устройства, вмонтированные в одежду или обувь.

[21] **CAGR (compound annual growth rate)** – среднегодовой темп прироста в сложных процентах.

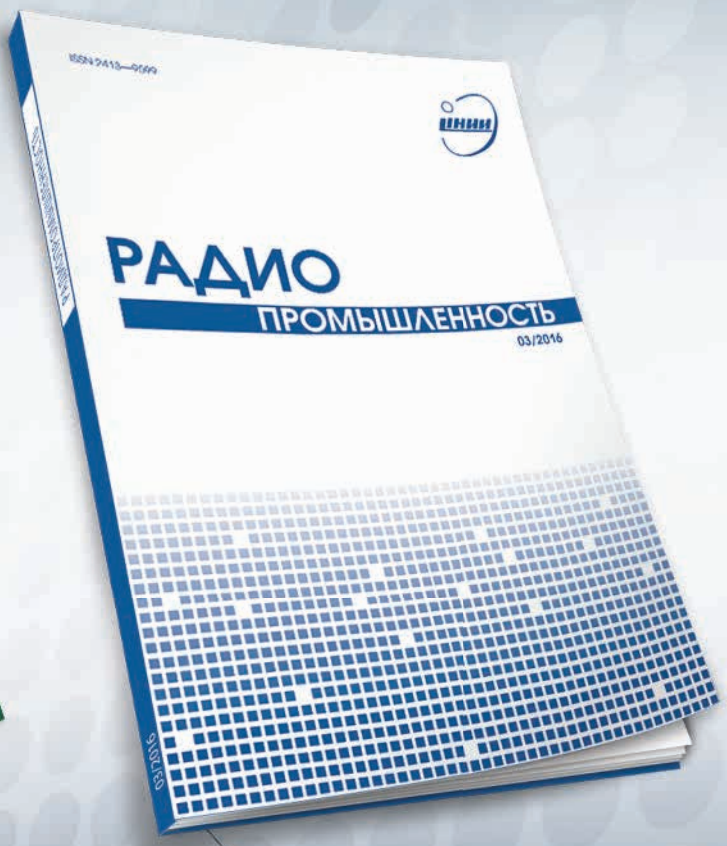
В СЛЕДУЮЩЕМ ВЫПУСКЕ

- 11–15 февраля 2018 г. в г. Сан-Франциско (США) прошла 65-я Международная конференция по твердотельным ИС (International Solid State Circuit Conference, ISSCC). Это основной международный форум в области твердотельных ИС и «систем-на-кристалле», рассматривающий вопросы создания перспективных приборов и приборных структур, архитектур, новых материалов и т.п. В конференции традиционно участвовали ведущие мировые специалисты в области микроэлектроники.
- Европейская организация по созданию технологической платформы фотоники Photonics21 опубликовала новый доклад о перспективах развития фотоники. Предполагается, что благодаря развертыванию фотонных технологий к 2030 г. в ЕС будет создано более 1 млн рабочих мест. Фотонное сообщество Европы насчитывает более 1700 фирм и научно-исследовательских организаций.
- Перспективы освоения технологий с топологическими нормами 7/5 нм тесно связаны с разработкой установок формирования шаблонов. В этой области сталкиваются интересы двух фирм – корпорации Intel, недавно поглотившей компанию IMS, и корпорации NuFlare. Речь идет, в частности, о создании многолучевых решений, однолучевых решений с изменяемой формой луча и т.п. От принимаемых этими корпорациями решений будет зависеть скорость освоения новых технологий и уровень их рентабельности.

ПОДПИСКА

на ведущие научные журналы радиоэлектронной отрасли

12 номеров в год



4 номера в год

АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ, СОВРЕМЕННЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

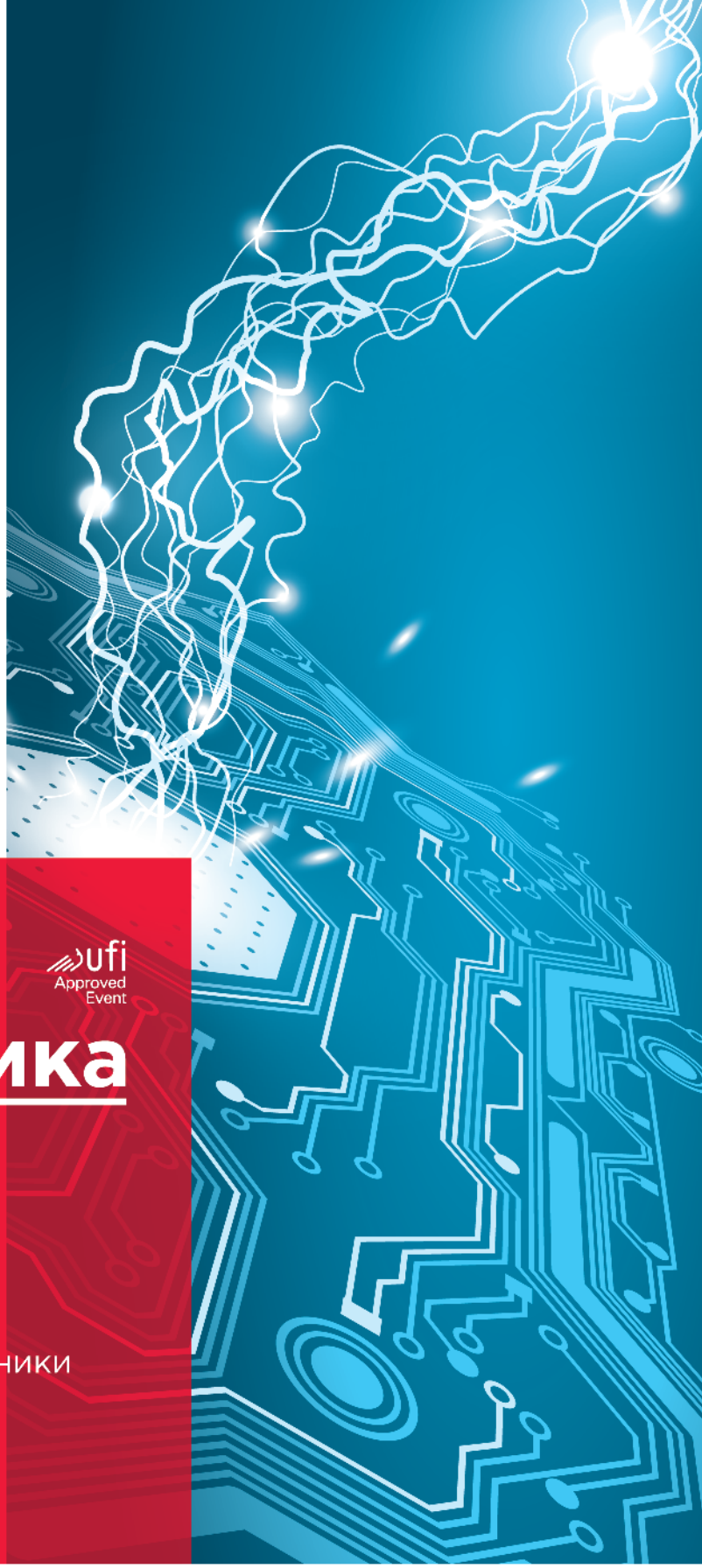
Входят в перечень ВАК. Индексируются РИНЦ.

Подписка в любом почтовом отделении, по тел. +7 (495) 940-65-46, e-mail: publish@instel.ru, на сайте www.instel.ru.

POWER ELECTRONICS

15-я Международная выставка компонентов и систем силовой электроники

23–25 октября 2018
Москва, Крокус Экспо



Силовая Электроника

ufi Approved Event

Единственная в России специализированная выставка компонентов и систем силовой электроники для различных отраслей промышленности

ITE primexpo

Организатор
Группа компаний ITE
+7 (812) 380 6003/07/00
power@primexpo.ru

Подробнее о выставке
powerelectronics.ru

12+