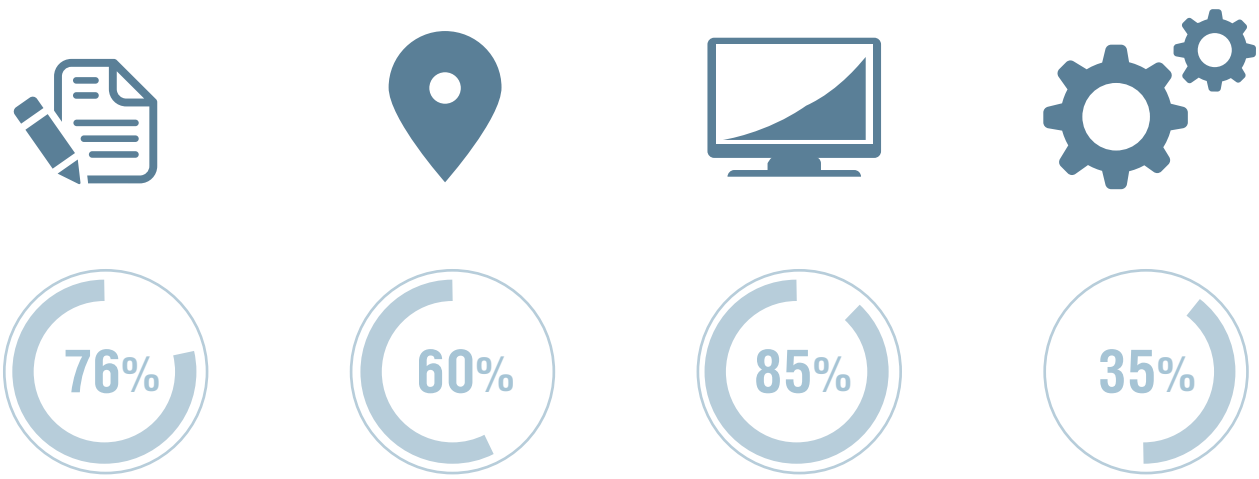
Выпуск 25 (6674) от 20 декабря 2018 г.

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ
ПО ЗАРУБЕЖНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКЕ



ISSN 2500-3844

СЕГОДНЯ В ВЫПУСКЕ

2
Компетентное мнение

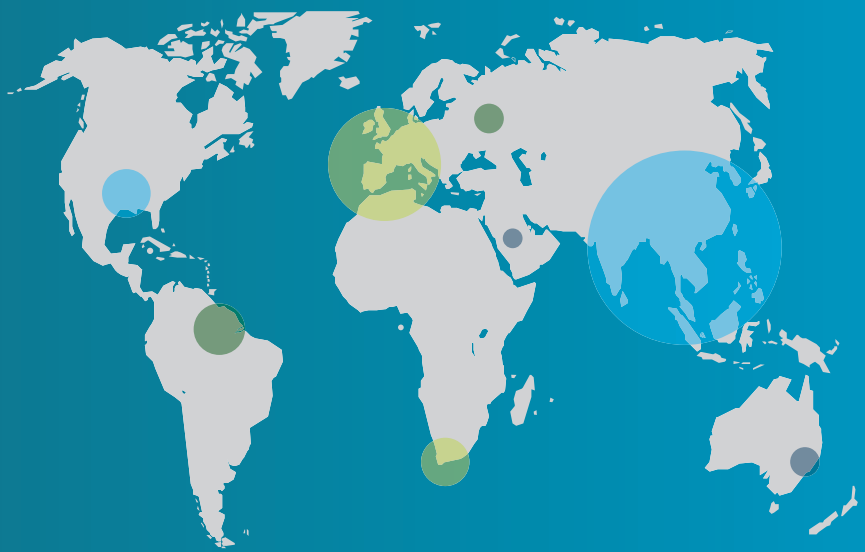
4
Противостояние между Китаем и США: не торговая война, а битва технологий

8
Вопросы увеличения выхода годных при освоении новых технологий

17
Перспективные технологии для процессов с проектными нормами 22 нм и менее

25
Как улучшить повторное использование аналоговых конструкций?

30
Мониторинг отклонений технологического процесса при производстве автомобильных ИС



34
Вычислительная химия и исследования в области новых полупроводниковых технологий

38
Особенности рынка печатной электроники

42
Ускоренное развитие мобильных сетей для беспилотных автомобилей

45
Глоссарий

Издатель
АО «ЦНИИ «Электроника»

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

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

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

Сегодня топологические нормы порядка 10/7 нм в поточно-массовом производстве могут освоить только Intel, Samsung и TSMC. Потенциально способная на это GlobalFoundries в середине 2018 г. отказалась от работ над 7-нм процессами, сосредоточившись на глубокой модернизации 28-, 22/20- и 16/14-нм процессов. Ведущие кремниевые заводы и вертикально-интегрированные производители ИС (IDM), оказывающие услуги кремниевых заводов, наибольшее внимание уделяют 22-нм технологиям (монолитная КМОП, FD-SOI и FinFET): по сравнению с 28-нм процессами они обеспечивают лучшие характеристики, но при этом рентабельнее в производстве, чем 16/14-нм технологии, в частности, не требуют применения дорогостоящих методик многократного формирования рисунка (multi pattering). На протяжении последних 10–15 лет в конкурентной борьбе в рамках «гонки масштабирования» был очень популярен «технологический перескок», т.е. пропуск одного уровня с целью обогнать конкурента и сэкономить средства. Ряд производителей и разработчиков ИС предполагал после 28-нм процесса сразу перейти к 16/14-нм топологиям, однако все оказалось не так просто, и вместо перехода непосредственно на 14-нм FinFET клиенты кремниевых заводов получат оптимизированный 22-нм процесс.

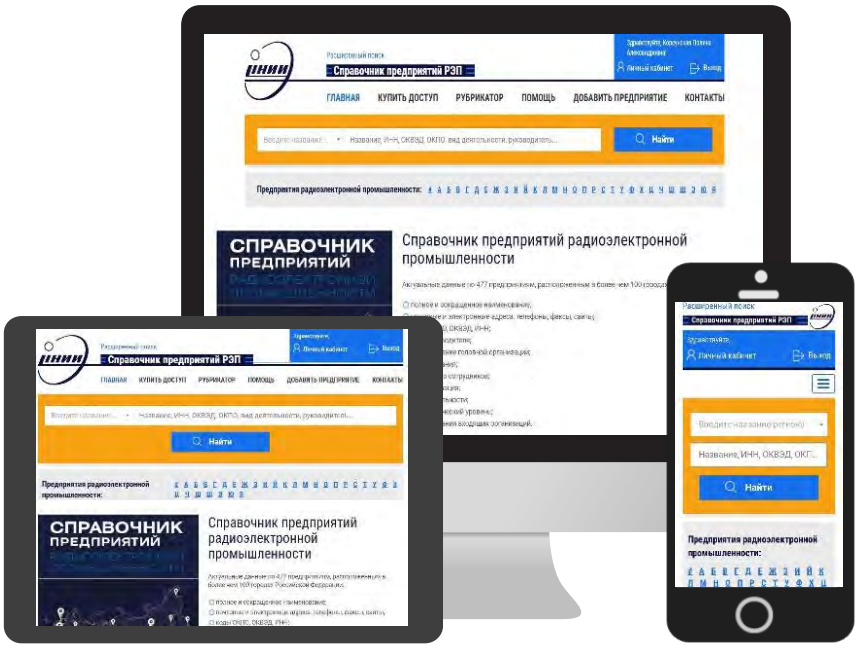
Вероятно, 22/20-нм и 16/14-нм процессы станут последними, позволяющими при проектировании новых конструкций ИС использовать ранее накопленные данные. Уже на уровне 10/7 нм (например, в случае многократного формирования рисунка) такой возможности просто нет, как нет и предварительных тестовых данных, на основе которых разработчики могут установить обратную связь для создания новых тестовых структур и определения средств оптимизации процесса. Появляются новые методики метрологии и тестирования – «проектирование под эксперимент» (DoE), совместная оптимизация технологии и проектирования, многократное формирование рисунка с самовыравниванием (SAMP) и т.д. Одной из последних в этом ряду стала инновационная технология генерации топологической схемы (layout schema generation, LSG) – в перспективе она позволит максимально совмещать данные, полученные при тестировании новых конструкций, с уже известными по прежнему опыту правилами проверки проектных норм.

Как известно, проектирование аналоговых ИС, в отличие от цифровых, во многом не автоматизировано – прежде всего из-за сложности и разнообразия аналоговых приборов. Этот же фактор обуславливает крайне малое повторное использование СФ-блоков и конструкций аналоговых ИС. Проектировщики и поставщики инструментальных средств САПР прикладывают большие усилия, пытаясь максимально автоматизировать процесс проектирования аналоговых приборов. Наиболее сложные задачи, стоящие перед разработчиками, – проектирование и тестирование «систем-на-кристалле» и схем смешанной (цифро-аналоговой) обработки сигнала. И аналоговые, и цифровые блоки SoC и цифро-аналоговых ИС предъявляют собственные требования как к проектированию, так и к тестированию. Однако в последнее время разработчикам удалось добиться успехов и в этой области.

Михаил Макушин,
главный специалист отдела научно-технического планирования РЭП

Справочник предприятий радиоэлектронной промышленности

www.spravochnikrep.ru



Для получения актуальной информации о предприятиях:

- зайдите на сайт www.spravochnikrep.ru;
- выберите в верхнем меню раздел «Купить доступ»;
- выберите желаемый период доступа и нажмите кнопку «Купить»;
- заполните появившуюся форму (**важно!** указанные при заполнении электронная почта и пароль будут логином и паролем для входа в личный кабинет);
- оплатите счет;
- получите доступ к справочнику предприятий РЭП после подтверждения оплаты.

Для того чтобы воспользоваться справочником, необходимо на сайте www.spravochnikrep.ru войти в личный кабинет, используя логин и пароль, которые были указаны при оформлении первой покупки.

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

Противостояние между Китаем и США: не торговая война, а битва технологий

Ключевые слова: искусственный интеллект, биотехнологии, биоинтеллект.

Китай стремительно развивает технологии на стыке искусственного интеллекта и генетики, угрожая тем самым традиционному лидерству США в инновационных областях.

Новый геополитический порядок во многом определится по результатам противостояния двух гигантов – Китая и США. И речь не о торговых войнах, а о более открытой конкуренции в области, развивающейся на стыке искусственного интеллекта и биотехнологий, в частности геномики[1]. Китай инвестировал в эту сферу 9 млрд долл. США.

Современные платформы ИИ собирают данные о поведении людей в сети, их здоровье и эмоциональном состоянии, а впоследствии будут собирать данные и об их геноме. Уже сейчас смартфоны способны определять изменения в тембре голоса с целью диагностики болезни Паркинсона, китайские компании следят за мозговыми волнами своих сотрудников и мониторят их эмоциональное здоровье, а в институте передовых исследований IBM разрабатывают умные имплантаты и наноботов со способностью анализировать образы и измерять уровень сахара у человека. Таким образом, активно развивается направление биоинтеллекта.

На данный момент Китай уже успел превзойти США в области масштабного и недорогого генетического секвенирования[2]. В Пекинском институте геномики в Шэньчжэне – крупнейшем центре генетических исследований – хранится около 40 млн образцов человеческой ДНК. Учреждение получило прозвище «Генная фабрика»: в нем реализуется сразу несколько крупных проектов, связанных с попыткой «секвенировать мир». В частности, планируется картировать ДНК всех известных видов растений и животных на планете Земля. Пекинский институт геномики в Шэньчжэне предоставляет свои услуги организациям, работающим в сфере здравоохранения и биотехнологий в 60 странах мира.

Обострение конкуренции между Китаем и США (прежде всего Кремниевой долиной как научно-технологическим кластером) произошло в 2013 г., когда Пекинский институт геномики в Шэньчжэне приобрел компанию Complete Genomics (г. Маунтин-Вью, шт. Калифорния, США) с намерением создать собственное продвинутое оборудование для генетического секвенирования с использованием произведенных в США технологий. Позже китайская компания WuXi NextCODE со штаб-квартирой

МНЕНИЕ ЭКСПЕРТА

Согласен, что направления биотеха и искусственного интеллекта сейчас крайне важны и вполне могли послужить истинной причиной начала торговой войны. Однако есть небольшая надежда, что сама суть технологий и примирит обе стороны. Чем больше данных, чем они разнообразнее, тем более глубокие и точные выводы из них можно сделать. Поэтому при огромном потенциале бизнеса в области биотеха и искусственного интеллекта установление торговых барьеров не обязательно увеличит прибыль инициатора войны – может оказаться, что суммарно он будет в проигрыше. Причина введения торговых санкций вполне может заключаться в стремлении удержать технологическое лидерство, однако это может затормозить прогресс в обеих странах.

Александр Баулин, *руководитель канала «Технологии» журнала Forbes*

в Кембридже (шт. Массачусетс, США) на ранних этапах инвестировала средства в развитие потребительского сервиса генетического тестирования 23&Me (г. Маунтин-Вью), который уже успел собрать генетические и физиологические данные о более чем 5 млн пользователей по всему миру. Сейчас WuXi NextCODE, прочно закрепившаяся на рынках Китая и США, обладает обширной библиотекой геномов с двух континентов и одной из крупнейших платформ генетической информации, в которой с помощью алгоритмов машинного обучения усовершенствуются технологии диагностики редких и онкологических заболеваний, а также методы индивидуальной терапии.

Преимущества Китая с политической точки зрения приводят к его доминированию в области развития новых алгоритмов работы с данными. Можно сказать, что страна проводит политику национализма в области ИИ: в условиях высококонкурентной бизнес-среды важнейшим значением в развитии данного сектора обладают государственные инвестиции, которые позволяют реализовывать на практике скоординированную долгосрочную стратегию финансирования научных исследований. Китай старается оградить свой рынок от проникновения компаний из Кремниевой долины. В 2017 г. был принят закон о кибербезопасности, согласно которому операторы сетей вынуждены хранить свои данные и предоставлять их по запросу китайских властей.

Конечно же, в Кремниевой долине существуют успешные примеры интеграции ИИ и биотехнологий. Корпорации Google и Amazon продолжают капитализировать свои мощные облачные платформы, которые могут быть востребованы при проведении исследова-

ний в области геномики как в США, так и за рубежом. Инициатива Чан–Цукерберга инвестирует миллиарды долларов в проект «Атлас человеческих клеток» – в будущем он поспособствует предотвращению развития самых разных заболеваний и излечению от них.

При этом Кремниевой долине остро не хватает скоординированной стратегии развития ИИ и перспективных цифровых технологий. Пока президент Дональд Трамп урезает штат Управления научно-технической политики Белого дома, китайское правительство представляет новую стратегию развития, основанную на интеграции оборонного и гражданского секторов для стимулирования исследований на стыке ИИ и биотехнологий. В совместной работе принимают участие такие лидеры китайской экономики, как технологическая компания Baidu (г. Пекин), инвестиционная компания Tencent (г. Шэньчжэнь) и торговая компания Alibaba (г. Ханьчжоу).

Стремительно наращиваются инвестиции китайских частных и венчурных фондов в американские сектора ИИ и биотехнологий: если в 2017 г. на эти цели было потрачено 4 млрд долл., то только в первой половине 2018 г. объем инвестиций составил уже 5,1 млрд долл. Цель этих шагов – получение доступа к еще большему объему технологического и человеческого капитала.

Помимо прочего, Китай старается проникнуть на рынки Юго-Восточной Азии, Африки и Ближнего Востока для получения доступа к местным данным и их последующей коммерциализации.

По оценкам Frost & Sullivan, если до 2015 г. выручка от использования ИИ в сфере здравоохранения была меньше 1 млрд долл. США, то после 2020 г. данный показатель способен приблизиться к 7 млрд долл. США. Достижения в области биоинтеллекта открывают новые возможности для управления благосостоянием и инновационным развитием стран. Возможно, в будущем технологические лидеры смогут использовать геномы, микробиомы и экосистемы своих конкурентов для обеспечения собственного экономического роста. В случае, если подобные процессы киберколонизации будут протекать в отсутствие межстранового обмена навыками и финансовыми ресурсами, в дальнейшем технологическое неравенство между разными государствами только возрастет.

Совместное использование ИИ и биотехнологий можно отнести к сфере двойного назначения, и высокий уровень развития соответствующих технологий целесообразно расценивать как стратегическое преимущество с точки зрения национальной безопасности. В связи с этим следует уделять особое внимание развитию технологий противодействия новым биоинтеллектуальным угрозам, в том числе разработке вакцин, антибиотиков и средств направленного действия. Таким образом, необходимо стимулировать развитие генной и вирусной инженерии, а также проведение микробиомных исследований.

Алгоритмы работы с данными становятся критически важным инструментом в области биобезопасности, помогая предотвращать угрозы со стороны известных и неизвестных последовательностей ДНК. Использование алгоритмов глубокого обучения поможет генетикам понять, какие изменения генома способны оптимизировать состояние здоровья человека. Очевидно, что не только США, но и другие страны должны стараться не отставать от Китая в области развития биоинтеллектуальных технологий.

Pauwels Eleonore. China Pins its Hopes on Beating US in Race for Bio-Intelligence Supremacy. South China Morning Post, November 26, 2018: https://www.scmp.com/news/china/science/article/2174815/china-pins-its-hopes-beating-us-race-bio-intelligence-supremacy

РОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

ТПП РФ

Expo Rating

СВЯЗЬ

Информационные и коммуникационные технологии

23—26 апреля 2019

Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр»

www.sviaz-expo.ru

31-я международная выставка

Организатор:

ЭКСПОЦЕНТР МОСКВА

При поддержке:

- Министерства промышленности и торговли РФ
- Федерального агентства связи (Россвязь)
- Российской ассоциации электронных коммуникаций (РАЭК)

Под патронатом ТПП РФ

МИНПРОМТОРГ РОССИИ

Россвязь

РАЭК

12+ Реклама

Вопросы увеличения выхода годных при освоении новых технологий

Ключевые слова: выход годных, макроструктура, проектирование, система тестирования, совместная оптимизация, технологический процесс, топология.

По мере масштабирования полупроводниковых технологий все более важным вопросом становится обеспечение высокого выхода годных. С этой целью постоянно совершенствуются традиционные и появляются новые методики метрологии и тестирования. К ним, в частности, относятся методики «проектирования под эксперимент» (DoE), совместной оптимизации технологии и проектирования (DTCO), многократного формирования рисунка с самовыравниванием (SAMP) и т.д.

Прогнозирование и повышение выхода годных на ранних стадиях разработки технологии – одна из причин создания тестовых макроструктур на тестовых шаблонах. Выявление потенциальных сбоев на ранней стадии разработки технологии позволяет проектным группам реализовать корректирующие действия или изменить процесс так, чтобы сократить время достижения желаемого выхода годных на стадии производства. Стандартные методики повышения выхода годных на новом уровне топологических норм основаны на использовании конструкций предыдущего уровня в качестве отправной точки для идентификации структур для проектирования под эксперимент (DoE[3]). Но как быть с новыми технологиями проектирования (такими как многократное формирование рисунка), которых не существовало на предыдущих уровнях топологических норм технологического процесса? Опыт человека-проектировщика неприменим из-за отсутствия знаний о подобных проблемах в предыдущих проектах. Отсутствуют и предварительные тестовые данные, на основе которых разработчики могли бы установить обратную связь для создания новых тестовых структур и определить средства оптимизации процесса или конструкции, позволяющие ускорить повышение выхода годных.

Появившаяся недавно инновационная технология генерации топологической схемы (layout schema generation, LSG) позволяет проектным группам создавать дополнительные макроструктуры для их добавления в тестовые структуры, не полагаясь на вводные данные предыдущих конструкций. Эти макроструктуры основаны на генерации и случайном размещении единичных структур, образующих более крупные структуры. Спецификации, регулирующие взаимосвязи между этими единичными структурами, могут быть скорректированы с целью создания логических зажимов (клипсов) для проверки топологии ИС, которые будут выглядеть как реалистичные конструкции.

Подобные клипсы в дальнейшем могут использоваться в методике DoE с целью прогнозирования выхода годных и определения потенциальных проектных оптимизаций и оптимизаций процесса, способных помочь увеличить выход годных. За счет использования нового процесса LSG разработчики могут значительно сократить время достижения желаемого выхода годных для конструкций, при создании которых используются новые методики проектирования.

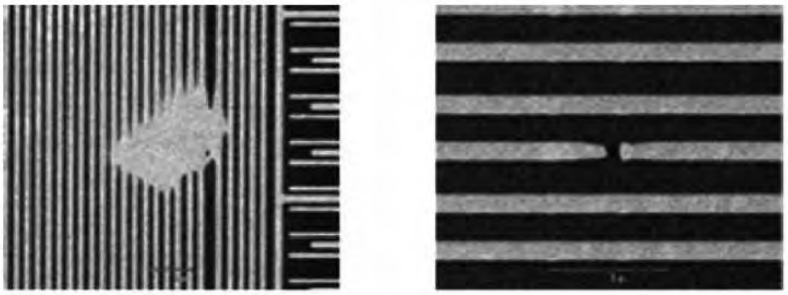
ПРОБЛЕМЫ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ВЫХОД ГОДНЫХ

Выход годных пластин обычно сокращается за счет трех категорий дефектов. Первая – случайные дефекты, возникающие из-за наличия загрязняющих частиц в технологических камерах. Проводящая частица может замкнуть две или больше соседних токопроводящих дорожек или создать канал утечки тока. Непроводящая частица или пустота может разомкнуть проводящий канал или создать межсоединение с высоким сопротивлением (рис. 1).

Вторая категория – систематические дефекты, возникающие из-за несовершенства архитектуры физического размещения элементов, влияния неоптимизированных способов оптических процессов или оборудования. Такие дефекты, как правило, представляют собой основной источник снижения выхода годных, но большинство из них можно устранить путем совместной оптимизации конструкции и технологии (design-technology co-optimization, DTCO), при которой конструкция и технологический процесс связываются более свободно, что позволяет достичь более быстрых темпов улучшения. Третья категория, которая не рассматривается в данной статье, включает параметрические дефекты (такие как отсутствие воспроизводимости в процессе легирования), воздействующие на надежность приборов.

ГЕНЕРАЦИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Для демонстрации использования и применимости процесса LSG рассмотрим конструкции, использующие методики многократного формирования рисунка с самосовмещением (self-aligned multi-patterning, SAMP). В настоящее время технология многократного формирования рисунка обычно применяется со 193-нм ArF-иммерсионной литографией – предпочтительной, по сравнению с EUV[4]-литографией, для топологий порядка 20 нм и менее. На уровне 7/5-нм топологий процесс SAMP, представляется весьма эффективным с точки зре-



Короткое замыкание | Разомкнутая схема

Источник: Mentor Graphics

Рисунок 1. Фотографии случайных дефектов, вызванных загрязняющими частицами (получены при помощи сканирующего электронного микроскопа)

ния достижения шага печатных линий на пластине, но выход годных при его использовании остается под вопросом. Разумеется, перед развертыванием в серийном производстве его необходимо опробовать на тестовых установках. Однако без предшествующих конструкций проектирование соответствующих тестовых установок – сложная задача. Помимо отсутствия ретроспективных данных тестирования однонаправленный характер SAMP-конструкций усложняет проектирование обычных змеевидных и гребнистых тестовых форм, содержащих двунаправленные компоненты.

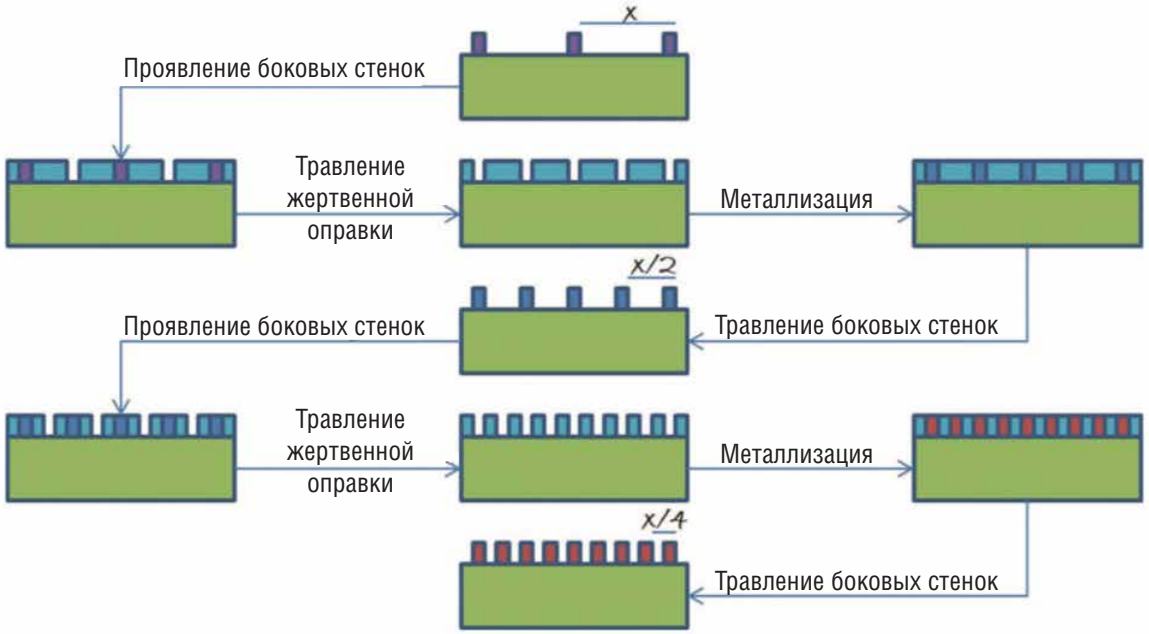
ПРОЦЕСС МНОГОКРАТНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РИСУНКА С САМОВЫРАВНИВАНИЕМ

В процессе SAMP первый (первичный) шаблон известен как оправочный шаблон (mandrel mask). Жертвенные формы оправки печатаются с релаксированным шагом и после этого используются при проявке боковых стенок. Размеры боковых стенок составляют половину шага оправки. В зависимости от градации освещенности целевые формы могут находиться в промежутках между боковыми стенками. Целевые формы можно использовать повторно – как жертвенные формы оправки для формирования следующего поколения боковых стенок. Формы пластины, не имеющие соответствующих форм шаблона, называются неоправочными формами. Для достижения SAMP-топологии с сокращенным шагом указанные действия можно повторять. Процесс SAMP (рис. 2) ограничивает конструкции до практической однонаправленности. Сгенерированные параллельные линии будут обрезаны позднее с использованием шаблона обрезки на месте желательного окончания линий – для формирования правильной подключаемости.

ТЕСТОВЫЕ УСТАНОВКИ

Тестовые установки обычно представляют собой подмножество шаблонов для проектирования, разработанных специально для того, чтобы пробудить потенциальные систематические отказы или литографические горячие точки[5] в тестируемом слое. Тестовая установка также может содержать некоторые структуры, специально разработанные для обнаружения случайных дефектов. Основные компоненты тестовой установки для любого нового топологического уровня технологических процессов – серпантинные (змеевидные) и гребенчатые формы для фиксации случайных дефектов, а также предварительные конструкции стандартных элементов со многими вариациями для оценки их качества. Другие структуры добавляются обычно на основе опыта, полученного при производстве кристаллов ИС предшествующих технологических поколений.

На новых топологических уровнях технологического процесса все структуры тестовой установки жизненно важны для обучения и определения характеристик процесса. Обратная связь используется для оптимизации методов проектирования. Например, когда «плохие» размеры топологических элементов обнаруживаются после завершения производства, они могут быть зафиксированы в виде структур, которым присвоены низкие оценки, и сохранены в библиотеках структур DFM[6]. Затем проектировщики, используя DFM-анализ для поиска наихудших структур в топологическом чертеже, могут изменить или устранить их. Такой ранний DTCO обеспечивает более быстрое достижение желаемого уровня выхода годных для нового топологического уровня технологии. Отмечается, что даже на зрелых технологических уровнях тестовые структуры используются в про-



Источник: Mentor Graphics

Рисунок 2. Базовая схема процесса SAMP

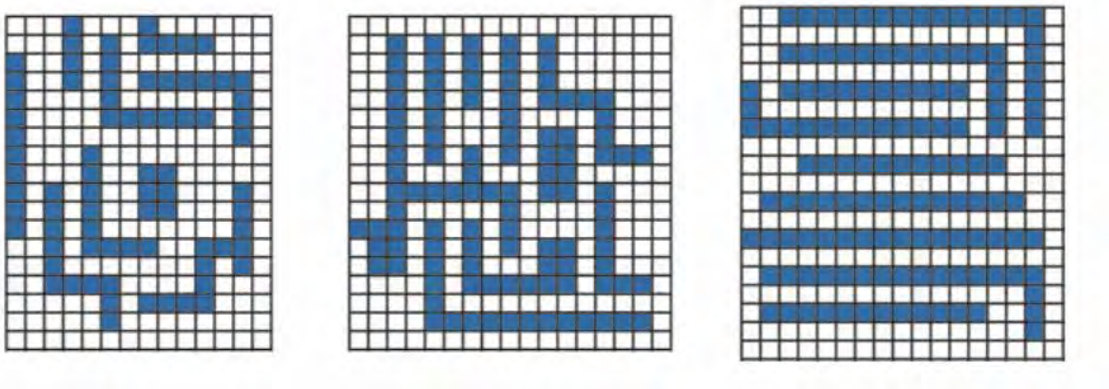
изводстве для определения дополнительных возможностей совершенствования и оптимизации технологического процесса, что, в свою очередь, оказывает положительное влияние на выход годных.

Разработка средств тестирования осложняется тем, что этот процесс зависит главным образом от опыта и памяти человека, осуществляющего проектирование тестовой системы. Разумеется, опытные проектировщики знакомы с различными методиками проектирования на более зрелых технологических уровнях, однако формы структур, с которыми они имеют дело при проектировании, ограничены данными методиками. Как правило, для разработки новых тестовых структур, особенно в случае нового процесса, требуется много времени. Решение LSG добавляет больше макроструктур (генерируемых случайным образом) в стандартную стратегию тестовых структур, что позволяет ускорить анализ влияния новых форм тестовых структур на выход годных.

СЛУЧАЙНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ТЕСТОВЫХ СТРУКТУР

Основной компонент решения LSG – метод случайной генерации реалистичных, конструкционно-подобных топологических элементов без нарушения норм проектирования. Случайность генерации логических зажимов (клипсов) при проверке топологии ИС за счет вставок базовых единичных структур в электрическую сеть обеспечивается методом Монте-Карло. Структуры представляют собой простые прямоугольные и квадратные полигоны, а также единичные структуры для встраивания в промежутках конструкции. Размеры зависят от шага конкретной технологии. При генерации топологий в качестве ограничений при вставке единичных структур применяются проектные нормы. После того как эти нормы сконфигурированы, появляется возможность создавать топологические клипсы произвольного размера (рис. 3).

Для начала SAMP нормы проектирования преобразуются в формат, читаемый автоматизированным инструментальным средством LSG наподобие Calibre LSG корпорации Mentor Graphics. Как только эти нормы сконфигурированы, процесс Calibre LSG способен автоматически генерировать область реалистич-



Источник: Mentor Graphics

Рисунок 3. Реалистичные топологические клипсы, сгенерированные в рамках процесса LSG без нарушения проектных норм

ных и свободных от нарушений проектных норм структур SAMP произвольной ширины. Эта область ограничена только поуровневым планом заданного макроса тестовых структур SAMP. Тестовые структуры также можно сгенерировать с помощью шин электропитания для имитации топологий стандартных элементов. Для подготовки к экспериментам конструкция должна быть разложена по справочным шаблонам и шаблонам обрезки. Данная операция также вводит различие между оправочными и неоправочными формами.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОД ЭКСПЕРИМЕНТ

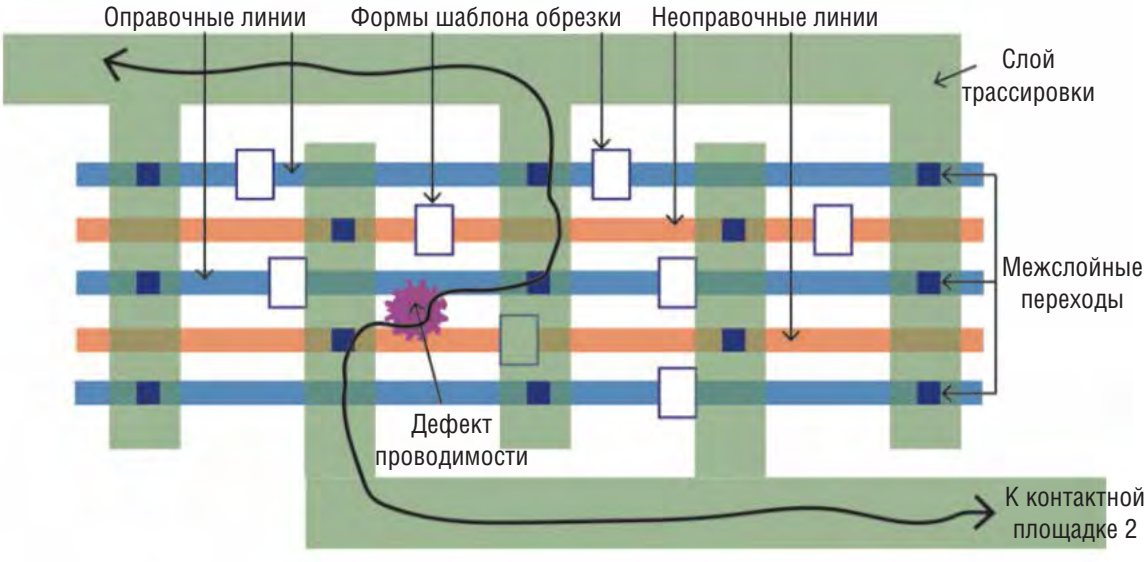
На этапе проектирования тестовой системы сгенерированные SAMP-структуры добавляются к стандартному содержимому обычных тестовых структур. Случайные SAMP-структуры электрически не имеют смысла, если они не соединены с другими слоями с целью постановки необходимого эксперимента. DoE определяет образ подключения структур к тестовым контактным площадкам для обнаружения различных режимов отказов – коротких замыканий вследствие образования перемычек из-за недостатков процессов литографии или проводящих частиц, а также разрывов цепей вследствие нарушения целостности структур из-за недостатков литографии, непроводящих частиц, пустот или открытых межслойных переходов. Для присоединения случайных DoE SAMP-структур через слой трассировки к внешним контактным площадкам (с целью осуществления электрических измерений) может быть построена цепь межслойных переходов. Эти топологические клипсы для проверки ИС распределяются в соответствии с присущими данной технологии нормами разбиения на оправочные шаблоны и шаблоны обрезки. Разделенные клипсы могут тестироваться посредством моделирования или электрически на кремнии для выявления горячих точек. Затем проводится анализ горячих точек для определения первопричины их возникновения. Впоследствии эта первопричина может быть использована для модификации топологии конструкции, оптимизации производственного процесса или моделей, что позволит устранить горячие точки в производственных процессах следующих поколений. Также выявленные первопричины могут использоваться как обучающие структуры при разработке платформ DFM-правил. За счет увеличения размеров случайно генерируемых тестовых структур можно выявить больше горячих точек. Это, в свою очередь, обеспечит ускоренное достижение желаемого показателя выхода годных на новом технологическом уровне.

ОБНАРУЖЕНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ЧАСТИЦ

В рамках первого эксперимента были собраны данные о случайных дефектах, вызванных проводящими частицами. Все оправочные формы были присоединены через верхнее или нижнее межслойное соединение и металлические слои к тестовой контактной площадке. Все неоправочные формы были подключены таким же образом к другой тестовой контактной площадке. Верхний трассировочный слой формирует две встречно-гребенчатые формы. На рис. 4 показан фрагмент топологического чертежа соединений. Размещение всех межслойных переходов и верхней металлической трассировки осуществлялось с использованием специальных сценариев, без вмешательства проектировщика-человека. В идеале две тестовые контактные площадки должны быть разъединены так, чтобы оправочные формы не соприкасались с неоправочными формами. Если же тестовые зонды соединяются, это свидетельствует о наличии дефекта проводящей частицы или литографической перемычки. Определение местоположения и анализ таких дефектов может помочь в оценке и повышении уровня выхода годных.

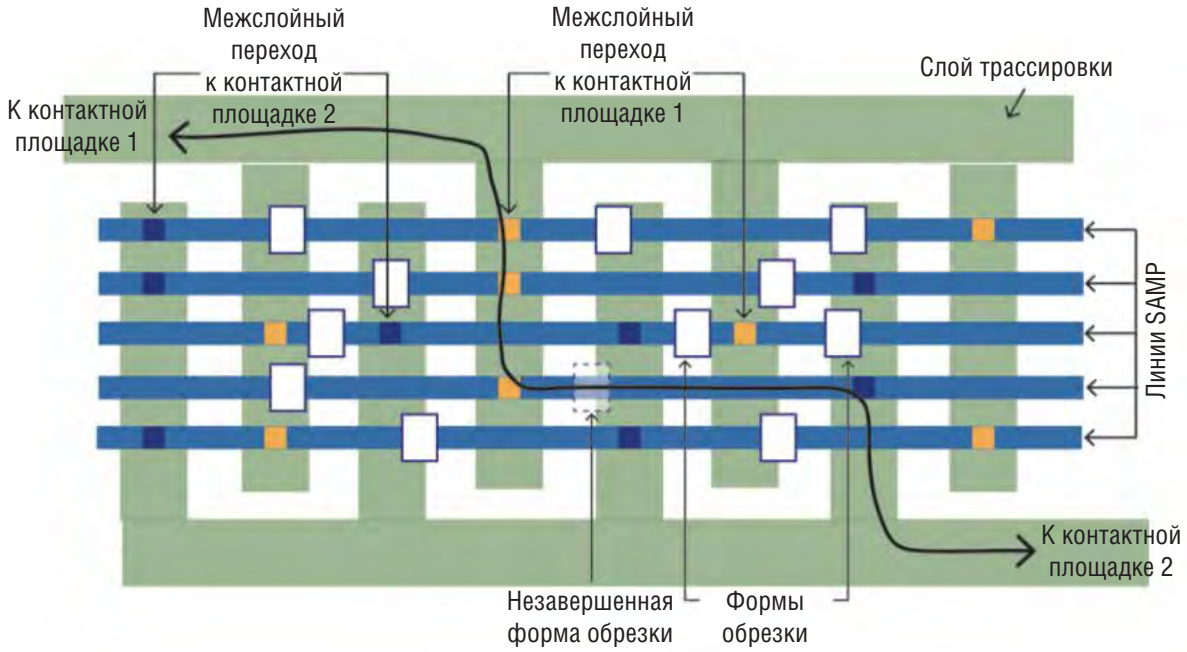
ОБНАРУЖЕНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ШАБЛОНА ОТРЕЗКИ

Один из примеров систематического дефекта литографии, найденного в SAMP-конструкциях, – ситуация, когда применение маски обрезки завершается некорректно. Это приводит к тому, что две формы на одной и той же токопроводящей дорожке закорачиваются через незавершенный разрез. Тестирование в данном случае требует подключения всех других полигонов на токопроводящей дорожке, что было сделано за счет генерации сценария, не требующего вмешательства человека. На рис. 5 показан дефект сгенерированной технологии с такими подключениями. Если тестовые зонды соединены, а две контактные площадки (в идеальном случае) разъединены, это может означать незавершенность формы разреза. Анализ места расположения дефекта и данные по нескольким пластинам могут выявить его первопричину.



Источник: Mentor Graphics

Рисунок 4. Использование DoE для обнаружения дефектов, вызванных проводящими частицами



Источник: Mentor Graphics

Рисунок 5. Использование DoE для обнаружения незавершенной формы обрезки

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оба описанных выше эксперимента проводились на установке тестирования, рассчитанной на передовые топологические нормы. Тестовые макроструктуры в первом эксперименте позволили успешно обнаружить несколько дефектов, вызванных проводящими частицами. Для моделирования плотности дефектов и оценки целевого уровня выхода годных использовались статистические данные, полученные на нескольких пластинах.

Повторяющиеся данные об отказах, полученные тестовыми макроструктурами во втором эксперименте, указывают на систематические отказы в определенных местах. Анализ показал, что первопричиной сбоя стало некорректное применение шаблона отрезки на некоторых этапах процесса, как и было предсказано на основе методики DoE.

Для проверки эффективности случайного подхода при обнаружении дефектов было сгенерировано 20 логических зажимов (клипсов) для проверки SAMP-конструкции. При этом их размеры линейно увеличивались – т.е. размер 20-го клипса в 20 раз превышал размер первого клипса. Также было выполнено моделирование процесса литографии в отношении шаблона отрезки с целью проверки потенциальных отказов. Все полученные в этом процессе контуры были проверены, а отказы классифицированы. На рис. 6 показано число горячих точек, обнаруженных на каждом зажиме. График показывает, что число идентифицированных горячих точек имеет тенденцию насыщаться по мере увеличения размера клипса. Так, число найденных на втором клипсе горячих точек вдвое превышало число горячих точек, найденных на первом клипсе, а на 20-м зажиме оно превосходило показатель первого только в шесть раз. Подобный результат ожидался, так как многие горячие точки на крупных клипсах являются точными копиями тех, что были найдены на малых клипсах. Если предположить, что инструментальное средство LSG сконфигурировано правильно, это означает, что тестовая система разумного размера может обнаружить большинство горячих точек.

Источник: Mentor Graphics

Рисунок 6. Число уникальных горячих точек стремится к насыщению по мере увеличения размеров случайно генерируемых логических зажимов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тестовые системы критически важны с точки зрения повышения выхода годных как на новых топологических уровнях технологических процессов, так и на зрелых технологических поколениях. Однако разработка точных тестовых структур для новых методик проектирования и технологий оказывается трудной задачей – их жизненный цикл еще слишком короток. Чтобы всесторонне охватить потенциальные отказы в процессе производства, создаваемые новыми методиками проектирования, необходимы инновационные подходы, обеспечивающие максимально полную совместимость новых данных с уже известными по прежнему опыту правилами проверки проектных норм. Новое решение, использующее генерацию топологического чертежа, создает случайные, реалистичные и свободные от нарушений проектных норм топологические структуры новой технологии проектирования для использования в установках тестирования. Эксперименты подтвердили способность обеспечить высокую степень охвата новых методик проектирования для областей конструкций с произвольной шириной. К генерируемым клипсам может добавляться необходимая схемотехника, что делает их электрически измеряемыми для обнаружения потенциальных отказов. Вероятность обнаружения горячих точек процесса литографии и систематических отказов на ранних стадиях технологического процесса растет за счет дополнительной области тестирования. Такая совместная оптимизация проектирования и технологии ускоряет достижение желаемого выхода годных на новых технологических уровнях – а это один из главных факторов успеха на рынке.

Elmanhawy Wael and Kwan Joe. Layout Schema Generation: Improving Yield Ramp During Technology Development. Solid State Technology. Wafer News, November 20, 2018: https://electroiq.com/2018/11/layout-schema-generation-improving-yield-ramp-during-technology-development/

ОТРАСЛЕВЫЕ ОБЗОРЫ СОТРУДНИЧЕСТВО БИЗНЕС ИННОВАЦИИ

ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ТЕХНОЛОГИЯМ, МАТЕРИАЛАМ, СТАНДАРТАМ И ОБОРУДОВАНИЮ В ОБЛАСТИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

МОСКВА ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР» 14-15 МАЯ 2019 SEMIEXPO.RU

Перспективные технологии для процессов с проектными нормами 22 нм и менее

Ключевые слова: FD-SOI, FinFET, кремниевый завод, технология КМОП ИС с монолитной подложкой, планарный транзистор.

В последние годы кремниевые заводы во все большей мере становятся производственной базой полупроводниковой промышленности. Именно ведущие «чистые» кремниевые заводы (TSMC, GlobalFoundries и UMC), а также крупнейшие традиционные вертикально-интегрированные фирмы (Intel, Samsung), оказывающие услуги кремниевых заводов, разрабатывают новейшие технологические процессы. При этом они стараются диверсифицировать свои технологические предложения: технология КМОП ИС с монолитной подложкой, полностью обедненный «кремний-на-изоляторе» (FD-SOI), FinFET. Технологические процессы с проектными нормами 28-нм уже достаточно хорошо отработаны, в последние два года идет активное освоение 22-нм процессов, на очереди процессы с меньшими топологиями.

Технология КМОП-ИС с монолитной подложкой, полностью обедненный «кремний-на-изоляторе» (FD-SOI) и FinFET[7]-технология – вот варианты, к которым прибегают крупнейшие производители ИС с целью дифференцировать свою продукцию и продукцию конкурентов. Вопрос в том, куда двигаться после 28-нм технологического уровня. После представления первых вариантов 22-нм технологических процессов в течение последних одного-двух лет кремниевые заводы готовятся к их освоению в массовом производстве. GlobalFoundries, Intel, TSMC и UMC расширяют свои разработки в области 22-нм процессов за счет таких конечных применений, как автомобильная электроника, Интернет вещей и беспроводные системы. Однако заказчики не спешат переходить к 22-нм процессам, которые оказались довольно разными и, кроме того, не обеспеченными в полном объеме инструментальными средствами САПР и СФ-блоками.

Тем не менее поставщики услуг кремниевых заводов продолжают продвигать 22-нм технологии. На это существует ряд причин. Во-первых, после нескольких лет расширения предложений в области 28-нм технологий наблюдается спад спроса на них. Таким образом, поставщики рассматривают 22-нм технологии как способ получения новых доходов. Кроме того, 22-нм технологии заполняют разрыв в технологических предложениях. Многие заказчики, использующие технологии с топологическими нормами

28 нм и более, обдумывают идею непосредственного перехода к топологиям порядка 16/14 нм, однако на этих технологических уровнях их возможности ограничены использованием FinFET-структур, которые дороже традиционных планарных транзисторов. Таким образом, для клиентов кремниевых заводов, предъявляющих спрос на технологии с топологическими нормами 28 нм и выше, 22-нм технологии представляют заманчивую альтернативу. Они обеспечивают лучшие параметры по сравнению с 28-нм структурами, но при этом дешевле FinFET-структур с топологиями 16/14 нм. Проблема в том, что 22-нм технологии различных кремниевых заводов существенно отличаются друг от друга. В настоящее время существуют три варианта:

- TSMC и UMC разрабатывают 22-нм планарный процесс изготовления КМОП ИС с монолитной подложкой;
- GlobalFoundries предлагает 22-нм планарную FD-SOI-технологию;
- Intel продвигает 22-нм FinFET-технологию, отличающуюся низкой потребляемой мощностью.

Кроме того, корпорация Samsung разрабатывает 18-нм планарную FD-SOI-технологию. Будут ли 22-нм и 18-нм процессы ориентированы на одних и тех же клиентов, пока непонятно, но факт остается фактом – конкуренция между кремниевыми заводами обостряется. Ряд специалистов полупроводниковой промышленности считают, что в настоящее время технологические предложения заметно различаются и у каждого из них есть шансы на успех. Действительно, 22-нм и 18-нм технологии подходят не для всех конечных применений, и производители ИС выбирают возможность как остаться на уровне 28 нм и больше, так и пропустить уровень 22/18 нм, перейдя непосредственно к 16/14-нм топологиям с учетом таких факторов, как потребляемая мощность, производительность, масштабирование площади кристалла, график поставок и стоимость.

ТЕХНОЛОГИЯ КМОП-ИС С МОНОЛИТНОЙ ПОДЛОЖКОЙ

В настоящее время часть специалистов рассматривает 22-нм технологии в качестве отдельного рынка, а другая часть – в качестве подмножества 28-нм технологий. Так, исследовательская корпорация International Business Strategies (IBS) объединяет 28-нм, 22-нм, 20-нм и 18-нм технологии в одну общую категорию. По оценкам, ее объем по результатам 2018 г. составит 11,5 млрд долл., что на 2,8% ниже показателей 2017 г. При этом IBS отмечает, что рынок 22-нм ИС в 2019 г. увеличится только на 0,6%, а реальный рост начнется позже.

С этой точки зрения 28-нм ИС являются крупнейшим сектором в категории 28/22/20/18-нм приборов – на них в 2017 г. пришлось порядка 10 млрд долл. услуг кремниевых заводов. Однако в данном секторе наблюдается избыточность производственных мощностей. Ситуация осложняется тем, что KHP планирует в ближайшее время ввести в строй большие объемы именно 28-нм мощностей. Кроме того, 22-нм приборы начинают отвоевывать рынок у 28-нм приборов. По оценкам IBS, в ближайшее время 22-нм ИС превзойдут по объемам продаж 28-нм ИС (в 2018 г. продажи 22-нм ИС составят 10% от рынка 28-нм услуг кремниевых заводов).

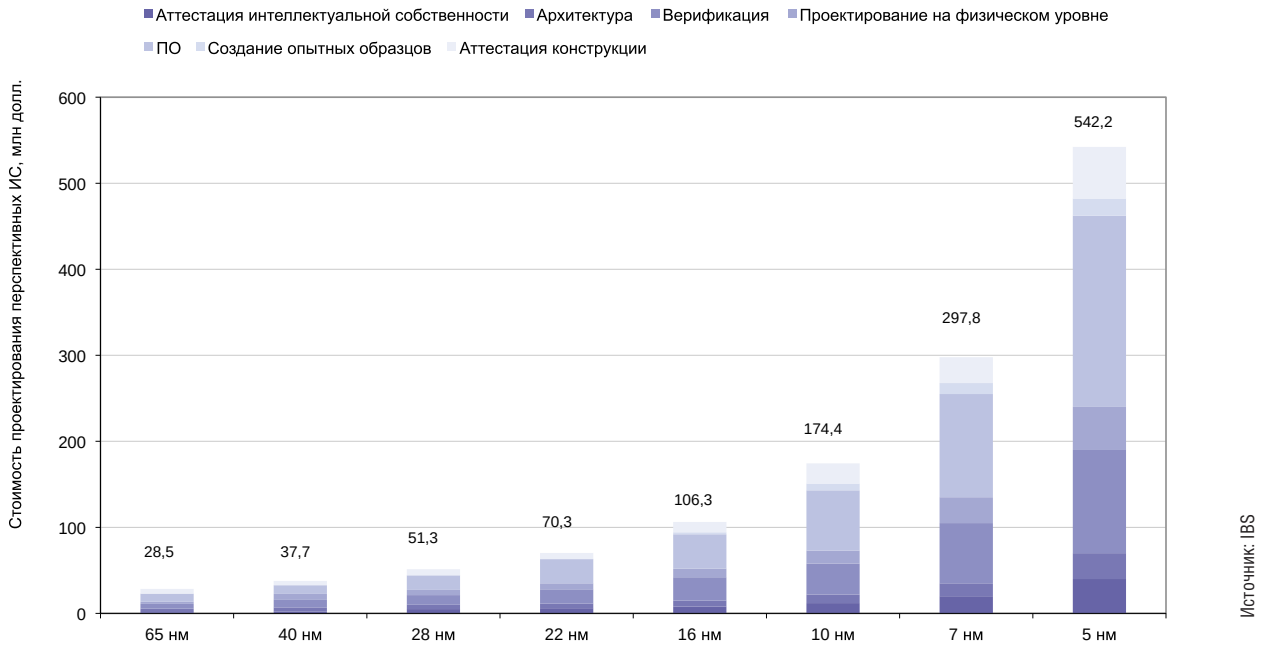
Из трех основных 22-нм технологий – планарной технологии КМОП ИС с монолитной подложкой, FD-SOI и FinFET – наиболее известна планарная технология КМОП ИС с монолитной подложкой, так как на протяжении многих лет она была основным направлением развития микроэлектроники. КМОП-технология использует как планарные, так и FinFET-транзисторы, в то время как технология FD-SOI использует специализированные пластины типа «кремний-на-изоляторе», ко-

торые включают тонкий изолирующий слой в подложке.

Каждая технология имеет собственные преимущества и недостатки. Планарные КМОП ИС с монолитной подложкой наиболее дешевы, но их двумерные транзисторы склонны к статическим утечкам, что и стало одной из причин внедрения FinFET. Управление такими утечками позволяет производителям ИС увеличить тактовую частоту, но при этом быстродействие должно быть сбалансировано с динамической плотностью мощности. Технология FD-SOI также использует планарную структуру, но с целью контроля потребляемой мощности добавляет эффект смещения подложки[8]. Недостаток FinFET и FD-SOI заключается в их дороговизне по сравнению с КМОП-технологией.

Все 22-нм технологические варианты направлены на формирование ИС без использования методик многократного формирования рисунка, которые очень трудоемки и дороги. Вот почему 28-нм технология, впервые представленная в 2011 г., стала очень привлекательной для многих передовых конструкций ИС со сбалансированным соотношением производительности и издержек для многих применений. Согласно данным IBS, средняя стоимость проектирования 28-нм ИС составляет 51,3 млн долл. для планарных приборов, в то время как средняя стоимость проектирования 16/14-нм ИС – 106,3 млн долл. (см. рисунок). Правда, хотя GlobalFoundries, TSMC, UMC и другие фирмы предлагают 16/14-нм конструкции ИС, большая часть конструкций реализуется по более зрелым технологиям.

При использовании FinFET существенно возрастает стоимость шаблона и собственно проектирования. FinFET хороши для цифровых технологий, но не подходят для радиоприборов. Проектирование приборов смешанной обработки сигнала с использованием FinFET-технологий также проблематично. Эти структуры идеальны для высокопроизводительных применений, но в ряде других областей их возможности ограничены. Задача интеграции РЧ-схемотехники и масштабируемых аналоговых элементов также представляет определенную трудность. С целью закрытия данного



Нарастание издержек проектирования ИС по мере масштабирования

разрыва ряд кремниевых заводов некоторое время назад начали разрабатывать 22-нм технологии – хороший выбор для изготовителей, стремящихся получить бóльшую производительность, чем у 28-нм технологий, но при этом по цене ниже, чем у технологий с топологическими нормами 16/14 нм и менее. Как отмечают отраслевые специалисты, 22-нм технологии хорошо подходят для Интернета вещей, схем смешанной обработки сигнала и радиочастотных приборов. Они действительно дешевле, чем 16/14-нм технологии, средняя стоимость их проектирования составляет 70,3 млн долл.

Разработчики корпорации UMC отмечают, что вместо непосредственного перехода с 28-нм технологий на 14-нм FinFET их клиенты получат более привлекательный 22-нм процесс с ультранизким током утечки, более дешевыми шаблонами и, соответственно, процессом проектирования. Помимо прочего, 22-нм технология позволяет облегчить модернизацию процессов проектирования 65-, 55- и 40-нм топологий. Кроме того, для 22-нм процесса создано большое число СФ-блоков, что будет способствовать его распространенности.

Из нескольких вариантов 22-нм технологий планарный процесс изготовления КМОП ИС с монолитной подложкой, разработанный TSMC и UMC, представляет собой масштабированную версию 28-нм планарной технологии КМОП ИС с монолитной подложкой. Подобно 28-нм процессу, он предполагает использование материалов с высокой диэлектрической проницаемостью и металлическими затворами, медных межсоединений и материалов с низкой диэлектрической проницаемостью.

Данный подход имеет свои плюсы и минусы. Так, производители ИС могут использовать то же самое технологическое оборудование, что и для 28-нм топологий, и те же самые технологические процессы. К недостаткам подхода относятся нежелательные эффекты короткого канала, возникающие по мере приближения к 20-нм топологиям. Это, в свою очередь, ухудшает подпороговые характеристики и характеристики выключения прибора. Кроме того, в стандартных транзисторах область канала под затвором обедняется подвижными зарядами, что оставляет атомы легирующей примеси ионизированными. Заряд этих атомов, наряду с рабочей функцией затвора, устанавливает пороговое напряжение. Глубина обедненной области контролирует электростатические явления. Ниже области обеднения находится нейтральный кремний с большим количеством мобильных носителей. По мере масштабирования данной технологии монолитные КМОП-транзисторы становятся подверженными случайной флуктуации легирующей примеси. Проще говоря, это явление приводит к вариациям легирующих атомов в канале, и в результате КМОП-транзистор демонстрирует не свое нормальное поведение, а создает случайные различия значений порогового напряжения.

Возможности планарных технологий изготовления КМОП ИС с монолитной подложкой ограничиваются значительной флуктуацией легирующих примесей, которая приводит к несоответствию и вариативности транзисторов на новейших уровнях топологических норм. Один из способов решения данной проблемы – переход на полностью обедненный тип транзистора наподобие FD-SOI и FinFET. В FinFET и FD-SOI легирование канала минимизировано, что дает преимущество в подстройке. Тем не менее два кремниевых завода – TSMC и UMC – планируют уменьшить ограничения технологии изготовления КМОП ИС с монолитной подложкой за счет ее 22-нм версии. И, несмотря на различные трудности, развитие 22-нм технологии набирает обороты. Считается, что при переходе от 28-нм к 22-нм технологии клиенты будут руководствоваться такими преимуществами, как бóльшая плотность размещения эле-

МНЕНИЕ ЭКСПЕРТА

Как показывает история развития мировых микроэлектронных производств, какой-то универсальной технологии не существует: у каждой есть как преимущества, так и недостатки. Если анализировать нишу малых проектных норм (28 нм и менее), то мировое полупроводниковое производство сейчас поддерживает базовые технологии на объемном кремнии (28 нм), FD-SOI с планарным исполнением затвора (28–22 нм) и FinFET (16 нм и менее). С точки зрения преимуществ этих технологических исполнений, каждое занимает свою нишу в реализованных продуктах. Объемный кремний с FinFET – высокопроизводительные процессоры, FD-SOI – процессоры для мобильных применений с меньшими энергопотреблением и токами утечки. Недостатки технологии FinFET в более высокой стоимости производства из-за большего количества фотошаблонов. Недостатки FD-SOI связаны с трудностями в проектировании: управление параметрами транзисторов заключаются в этой технологии производится путем подачи потенциалов через технологические контакты к несущей подложке, которая легирована различными типами примесей, соответствующих типам транзисторов. Такая особенность требует создания специализированных IP-блоков и библиотек только под этот техпроцесс. Ведущие микроэлектронные производители, обладающие технологией FD-SOI – в первую очередь Samsung, GlobalFoundries, STMicroelectronics, – успешно развивают бизнес, несмотря на то что набор IP-блоков и библиотек для FD-SOI сегодня менее развит по сравнению с объемным кремнием с FinFET и для его расширения нужно время. Это является серьезным барьером для дальнейшего развития продуктов по технологии FD-SOI.

***Павел Игнатов**, главный конструктор элементной базы АО «НИИМЭ»*

ментов и повышение быстродействия при снижении потребляемой мощности. TSMC ожидает, что около 20% ее клиентов, придерживающихся сейчас 28-нм технологии, выберут в дальнейшем технологию 22 нм. При этом технология FD-SOI рассматривается как нишевое применение, ориентированное на приборы с малой потребляемой мощностью. Переход к 22-нм технологии будет облегчен за счет того, что значительная часть СФ-блоков, разработанных для 28-нм технологии, подходит и для 22-нм технологии.

TSMC между тем представила дополнительные данные по ранее представленной 22-нм технологии, включающей в себя две платформы процесса. Первая, 22-нм процесс с ультрамалой потребляемой мощностью (ultra-low power, ULP), предназначена для маломощных применений, требующих большей производительности. Вторая, также 22-нм процесс с ультрамалым током утечки (ultra-

low leakage, ULL), предназначена для приборов с ультрамалой потребляемой мощностью.

Отмечается, что область приборов, используемых в Интернете вещей, радиочастотных и аналоговых приложениях, достаточно широка. Одной технологией трудно охватить оба эти применения. Соответственно, каждое из них необходимо оптимизировать отдельно. 22-нм технология ULP работает с напряжением 0,8–0,9 В, а 22-нм ULL – с напряжением 0,6 В. Эта версия должна выйти в апреле 2019 г.

Помимо технических спецификаций клиентам кремниевых заводов необходимо изучить инструментальные средства САПР и поддержку выбираемых ими процессов СФ-блоками. Здесь также имеются трудности – одни кремниевые заводы на уровне 22-нм технологий оказывают бóльшую поддержку по САПР и СФ-блокам, чем другие.

Надо отметить, что кремниевые заводы полагаются на инструментальные средства САПР независимых поставщиков. Однако впоследствии в отношении выбранного процесса кремниевые заводы могут не только использовать СФ-блоки независимых поставщиков, но и разрабатывать собственные. Так, основные технологические разработки TSMC на уровне 22-нм технологий – встраиваемые схемы магниторезистивной памяти (MRAM) и резистивные ОЗУ (RRAM). Встраиваемая память обычно интегрируется в микроконтроллеры, в которых встраиваемая флэш-память NOR-типа используется для хранения кодов. Однако флэш-память NOR-типа трудно масштабируется на топологиях менее 28 нм, соответственно, вместо нее на малых топологиях используются MRAM и RRAM. Эти относительно новые типы памяти совмещают быстродействие СОЗУ и энергонезависимость флэш-памяти с неограниченной долговечностью. Тем не менее корпорация Microchip планирует масштабировать свою технологию SuperFlash до уровня 22 нм. Как только завершится аттестация 28-нм технологии FD-SOI, корпорация приступит к аттестации 22-нм процесса SuperFlash. Отмечается, что технологии встраиваемых MRAM (eMRAM) и SuperFlash могут сосуществовать в зависимости от конечного применения.

Еще один независимый поставщик СФ-блоков, фирма ARM, разработала для 22-нм процесса TSMC СФ-блоки физического уровня, такие как библиотеки стандартных элементов, устройства ввода–вывода общего назначения и компиляторы памяти.

Что касается поставщиков инструментальных средств САПР, то крупные фирмы поддерживают 22-нм технологию TSMC. Так, представители корпорации Mentor Graphics указали, что возможности 22-нм технологий различаются в зависимости от конкретного кремниевого завода – того, как осуществляется процесс литографии и реализуется методика проектирования под производство (DFM). Важный фактор – новизна 22-нм технологического уровня: это означает, что всегда есть разница во временных задержках и качестве между эталонными этапами завершающего контроля и следующими инструментальными средствами. Fabless-фирмы предпочли бы воспользоваться наиболее надежными процессами с целью минимизации рисков.

UMC также разрабатывает 22-нм процесс изготовления КМОП ИС с монолитной подложкой. В данный момент корпорация завершает формирование технических условий заказчика и планирует начать производство ИС по указанному процессу в 2020 г. Процесс будет оптимизирован по производительности и потребляемой мощности, а площадь изготовленных по нему кристаллов ИС окажется на 10% меньше по сравнению с 28-нм ИС с ультранизкой потребляемой мощностью, предназначенными для использования в радиочастотных системах и системах миллиметрового диапа-

зона волн. Предполагается, что 22-нм платформа UMC станет рентабельным решением для широкого диапазона применений планарной технологии с высоким значением диэлектрической проницаемости и металлическими затворами. Ее использование предполагается в мобильной технике (технологии 5G и другие беспроводные системы), Интернете вещей и автомобильной электронике.

FD-SOI

Корпорация GlobalFoundries стала первым игроком, вступившим в гонку 22-нм технологий. Три года назад она представила 22-нм вариант технологии FD-SOI. В настоящее время разрабатывается 12-нм планарная версия процесса FD-SOI, которая должна появиться в 2022 г. В течение некоторого времени корпорация Samsung в своих работах описывала 28-нм процесс FD-SOI, а также его 18-нм версию.

В целом 22-нм или 18-нм процесс FD-SOI конкурирует с 16/14-нм FinFET-технологией, так как они ориентированы на разные рынки, и области их применения слабо перекликаются. В рамках процесса FD-SOI используется специализированная пластина SOI, в подложке которой интегрирован тонкий изолирующий слой (толщиной 20–25 нм). Этот слой изолирует транзистор от подложки, тем самым блокируя ток утечки прибора. Процесс FD-SOI также основан на планарной, полностью обедненной архитектуре. Благодаря этому становится возможно избежать случайных флуктуаций легирующей примеси, что существенно улучшает электростатические характеристики и подпороговые параметры.

Предлагаемая корпорацией GlobalFoundries 22-нм технология FD-SOI, получившая фирменное обозначение 22FDX, предусматривает использование структур HKMG[9] с SiGe в канале. За счет этого производительность улучшилась на 30% по сравнению с 28-нм процессом и на 45% снизилась потребляемая мощность. Производственная аттестация процесса 22FDX проведена в начале 2017 г. В последнее время GlobalFoundries расширила ассортимент изделий, выпускаемых по данной технологии за счет суб-6-ГГц радиоприборов, приборов, работающих на миллиметровых волнах, изделий с ультранизким током утечки и ИС с ультрамалой потребляемой мощностью. Все эти новинки также прошли аттестацию в производстве. Привлекательность процесса FD-SOI заключается в двух особенностях – низкой потребляемой мощности и смещении подложки. Это обеспечивает управляющие токи в 910 мкА/мкм (856 мкА/мкм) при рабочем напряжении в 0,8 В. Проектировщики GlobalFoundries считают, что смогут снизить рабочее напряжение до 0,4 В.

Смещение подложки, по сути, дает возможность полностью динамически контролировать пороговое напряжение (V_{th}) транзистора за счет поляризации его нижнего затвора. Показатель V_{th}, который ранее определялся процессом путем использования сложных методик легирования, теперь динамически программируется с помощью программного обеспечения. Проектировщики могут использовать данную характеристику для динамического управления током утечки в своих схемах, а также эффективно компенсировать вариации статики (процесс) и динамики (температура, напряжение и старение). Результат – выигрыш в эффективности использования энергии в диапазоне от четырех до семи раз при ультрамалой потребляемой мощности.

Технология FD-SOI также поддерживает напряжение прямого смещения подложки[10]. По данным корпорации STMicroelectronics, когда поляризация подложки положительна, транзистор переключается быстрее.

Однако у технологии FD-SOI есть три недостатка – высокая стоимость, нераз-

витость экосистемы и масштаб освоения. В течение многих лет процессы FD-SOI имели ограниченное применение. Специалисты корпораций Intel, TSMC, UMC и других избегали их, утверждая, что КМОП ИС с монолитной подложкой обеспечивают получение высокопроизводительных приборов при более низких издержках. Например, пластина SOI продается по 370–400 долл., в то время как КМОП-пластина с монолитной подложкой – за 100–120 долл.

Правда, процесс FD-SOI требует меньшего числа шаблонов, что отчасти компенсирует цену пластин. Действительно, технология FD-SOI рассчитана на 22–24 этапа маскирования, в то время как сопоставимый КМОП-процесс изготовления ИС с монолитной подложкой требует от 27 до 29 этапов.

Кроме того, издержки формирования транзистора по 22-нм процессу FD-SOI составляют 5% аналогичных издержек для 22-нм процесса HKMG. Также 22-нм технология FD-SOI, по сравнению с 22-нм технологией HKMG, обеспечивает меньшее (от 30% до 50%) энергопотребление, что очень важно для носимой электроники[11] и приборов Интернета вещей.

В то же время FD-SOI-сообщество отстает с точки зрения экосистемы инструментальных средств САПР и СФ-блоков. Она в последние годы укрепляется (сейчас инструментальные средства САПР для нее активно разрабатывают Cadence, Mentor и Synopsys), но по-прежнему уступает по размерам экосистеме 22-нм технологии HKMG изготовления КМОП ИС с монолитной подложкой.

По оценкам корпорации Mentor, технология FD-SOI предлагает уникальные возможности при изготовлении радиочастотных приборов, которые трудно получить, используя другие технологические процессы. Есть и другие преимущества. В то время как FinFET-технология способна обеспечить ток утечки, близкий к нулю, процесс FD-SOI позволяет использовать динамическую мощность – в частности, уменьшать напряжение от 1 до 0,6 В, а это означает 65%-ное снижение потребляемой мощности. Кроме того, технология FD-SOI способна динамически изменять потребляемую мощность по сравнению с балансом производительности.

ДРУГИЕ ВАРИАНТЫ

В прошлом году корпорация Intel представила 22-нм вариант FinFET-технологии с малой потребляемой мощностью. С тех пор, правда, эта технология активно не продвигается. На предстоящей в декабре 2018 г. Международной конференции по электронным приборам (International Electronic Device Meeting, IEDM) Intel планирует представить доклад по 22-нм технологии встраиваемых MRAM.

Таким образом, вокруг 22-нм технологических процессов наблюдается достаточно большая активность, но пока неясно, какой величины рынок может сформироваться и какая технология будет преобладать. Слишком рано говорить, станут ли 22-нм процессы хитом или нишевым решением. Одно несомненно – одни процессы получат большее распространение, чем другие.

LaPedus Mark. Foundries Prepare for Battle at 22nm. Semiconductor Engineering, November 19, 2018: https://semiengineering.com/foundries-prepare-for-battle-at-22nm/

Как улучшить повторное использование аналоговых конструкций?

Ключевые слова: автоматизация проектирования, аналоговые ИС, базовые СФ-блоки, моделирование, повторно используемые конструкции, проектные решения, САПР.

Проектирование аналоговых ИС, в отличие от проектирования цифровых ИС, автоматизировано в достаточно малой степени. Существующие подходы к проектированию остаются неэффективными – они подвержены ошибкам, а также в высокой степени ориентированы на технические условия заказчика. Ввиду того, что аналоговые ИС переживают ренессанс и область их применения расширяется, подобное положение вещей требует изменений. Специалисты журнала Semiconductor Engineering попытались сформулировать общие подходы к данному вопросу.

Проектирование современных цифровых ИС в значительной степени автоматизировано, а большинство аналоговых компонентов разрабатывается вручную. Правда, вскоре ситуация может измениться. По мере того как аналоговые конструкции усложняются, их подверженность ошибкам также возрастает. Соответственно, группы проектировщиков и поставщики инструментальных средств САПР сосредотачиваются на том, как автоматизировать по возможности бóльшую часть процесса проектирования аналоговых ИС.

Аналоговые конструкции известны своей сложностью и разнообразием. Они могут включать в себя все что угодно: от управления режимом электропитания до звуковых датчиков, при этом многие из элементов в высокой степени подстроены под требования заказчика. Это затрудняет разработку инструментальных средств САПР, так как один формат не может охватить все многообразие конструкций. Действительно, одна аналоговая конструкция может серьезно отличаться от другой, даже если они используются в одном и том же приборе.

Проектирование базовых строительных блоков аналоговых ИС, таких как усилители, компараторы и переключатели, начинается с выбора топологии, определения размеров и формирования топологического чертежа. Для каждого из этих этапов требования к обработке аналоговых сигналов отличаются большей сложностью, чем подобные требования к обработке цифровых сигналов. Формируется очень большое пространство решений, что не позволяет проектировщикам аналоговых ИС просматривать пространство проектных решений в целом и побуждает их постоянно искать варианты конструкций, которые лучше соответствуют их требованиям. Таким образом, даже небольшие изменения в требованиях часто приводят к полному перепроектированию схемы, в результате чего уровень повторного использования существующих схем и даже топологических чертежей остается крайне низким и проектирование компонентов аналоговых ИС требует значительно больше усилий, чем проектирование цифровых компонентов – как на уровне прибора, так и на уровне кристалла ИС. Кроме того, качество проектирования во многом зависит от индивидуального опыта конкретных разработчиков.

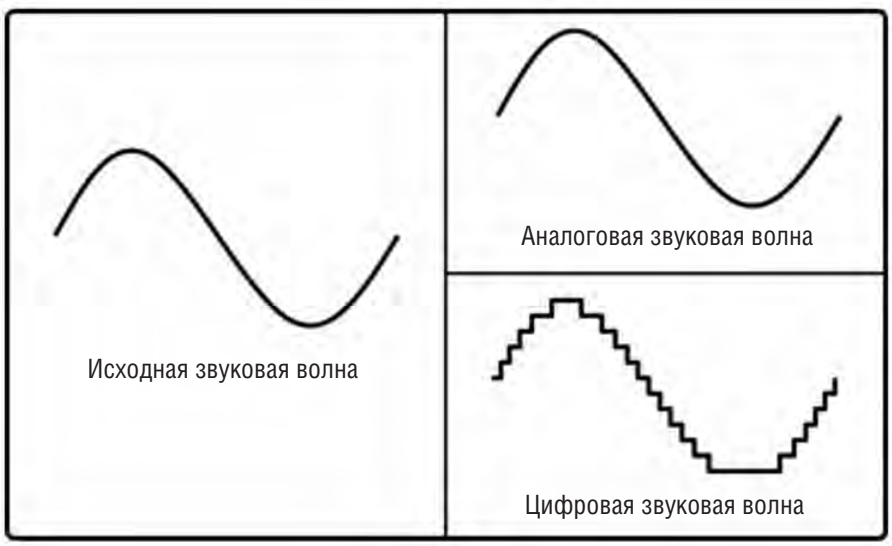
В сфере проектирования цифровых приборов проблема сложности решалась путем дискредитации проектного пространства – по заранее заданным вариантам характеристик и упорядоченной структуре форм для каждого строительного блока. Именно это снижение сложности пространства проектирования (в дополнение к естественной простоте обработки цифровых сигналов) стало главным фактором, который обеспечил высокий уровень автоматизации технологических процессов проектирования цифровых ИС.

ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЗАЦИИ

Из-за большого числа разнообразных проблем проектирование аналоговых приборов всегда будет напоминать алхимический процесс. Тем не менее существуют способы улучшить предсказуемость и надежность этих конструкций. Отраслевые специалисты указывают, что автоматизация проектирования аналоговых ИС никогда не достигнет уровня автоматизации цифровых ИС, однако считают такое положение вполне естественным. Также отмечается, что в деле автоматизации аналогового проектирования пройден долгий путь и достигнут очевидный прогресс, но все же для изучения пространства проектирования необходимо больше инструментальных средств анализа и оптимизации. Например, необходимо рассматривать различные взаимодействия между строительными блоками в рамках «систем-на-кристалле» (SoC), включая такое явление, как электромагнитное взаимодействие. Кроме того, СФ-блоки должны верифицироваться в той среде, в которую они будут интегрироваться – с целью проверки на предмет существования каких-либо проблем взаимодействия.

Другая область, также требующая определенных усилий, – проблема старения аналоговых схем. Данный фактор трудно анализировать и предсказывать его последствия в случае цифровых ИС, в случае же аналоговых ИС ситуация еще сложнее.

В настоящее время существуют два подхода к анализу надежности конструкций заказных ИС. Первый заключается в применении средств проверки безопасности работы ИС при решении проблем надежности прибора. Эти средства используются в ходе стандартного мо-



Источник: Center Point Audio

Сопоставление аналогового и цифрового сигнала

делирования с целью определить, насколько велика напряженность прибора и может ли она привести к значительным изменениям его характеристик. Однако данный подход имеет ряд ограничений. Так, нет ответа на вопросы, что представляет собой «значительное» изменение характеристик прибора и как изменения характеристик прибора влияют на изменение производительности схемы в целом. Результаты этого подхода предоставляют информацию только о том, прошла ли конструкция проверку или был зафиксирован отказ, но не дают понимания о запасах надежности конструкции.

Второй подход предполагает проведение анализа старения путем моделирования напряженности прибора в течение всего эксплуатационного срока. Проводится расчет деградации прибора вследствие работы, а затем осуществляется моделирование конструкции в конце срока ее службы, включая влияние деградации прибора на характеристики схемы в целом. Результат моделирования старения можно проверить с помощью того же подхода, который используется при верификации конструкции. По сравнению с использованием средств проверки безопасности, анализ старения требует дополнительного моделирования.

Представители Института ИС общества Фраунгофера (Fraunhofer IIS, FIIS, г. Эрланген, земля Бавария, ФРГ) предложили два дополнительных метода автоматизации проектирования аналоговых ИС. Один из них заключается в обработке сложной конструкции с увеличением вычислительных мощностей, включая синтез топологии, «центрирование» конструкции[12], оптимизацию выхода годных и оптимизацию на основе синтеза топологии. Второй метод предусматривает уменьшение сложности за счет повторного использования уже имеющихся знаний. Примеры уменьшения сложности включают поиск компромисса между уверенностью в свойствах и их гибкостью для адаптации к конкретным требованиям.

Библиотека аттестованных СФ-блоков физического уровня обеспечивает наивысший уровень достоверности, но не гибкости. В то же время входящие в библиотеку аттестованных СФ-блоков программного уровня строительные блоки, или так называемые генераторы, могут компилировать общее описание схемы (содержащее экспертные знания в области проектирования) в схематические представления и топологические карты за считаные секунды. Данные представления и карты обладают возможностью подстройки топологии, размеров, топологических карт и даже технологических процессов.

Таким образом, представляется жизнеспособным способ автоматизации проектирования аналоговых схем, сочетающий подход на основе генераторов с оптимизацией конкретных параметров. Для этого требуется библиотека схемных генераторов для базовых строительных блоков. Цель – снизить сложность области проектных параметров с одновременным сохранением разумного охвата данной области. Это также требует автоматизации и параметризации генерации символов, схематических представлений, топологий, тестовых стендов и моделей. Благодаря этому возникает возможность переноса аналоговых конструкций между различными технологическими процессами и в различных средах проектирования.

Кроме того, необходимо сохранить гибкость разработки новых схем. Для реализации этой задачи необходимо осуществить следующие шаги:

- использовать индуктивный, базовый и мощный дескрипторный язык для иерархических аналоговых схем;
- создать описание топологии на основе настраиваемых шаблонов;
- создать настраиваемый интерфейс наборов средств проектирования процессов (PDK) для управления поддерживаемыми устройствами;
- сгенерировать данные схемы, полностью совместимые с данными,

созданными вручную, с целью обеспечения частичного использования и дальнейшей ручной адаптации сгенерированных компонентов;
- создать интерфейс для блоков определения размеров и оптимизации с целью обеспечить изучение пространства проектных решений в пределах области параметров генератора;
- рассмотреть возможность использования более крупных библиотек генераторов для выбора приемлемой топологии схемы на основе ограничений по характеристикам;
- обеспечить непрерывность нисходящего технологического процесса проектирования от системного уровня до уровня реализации схемы с моделями, представляющими пространство проектных решений схемного генератора.

Надежность сгенерированных схем может контролироваться дополнительным рассмотрением измерений топологий, таких как плотность тока и электромагнетизм. Это может быть поддержано взаимодействием с существующими инструментальными средствами электромагнитного анализа. Надежность процесса проектирования увеличивается просто за счет автоматизации его важных этапов, что приводит к большей воспроизводимости результатов и исключает на данных этапах отказы по вине человека.

Тем не менее существует много проектов, предъявляющих высокие требования к производительности и функциональности для схем смешанной (цифро-аналоговой) обработки сигнала. В подобных схемах аналоговые конструкции моделируются совместно с цифровыми и также совместно проходят испытания на тестовых стендах.

В целях обеспечения правильного функционирования аналоговых схем в составе системы на протяжении всего ее жизненного цикла некоторые инструментальные средства моделирования аналоговой и цифро-аналоговой обработки сигнала могут использоваться совместно. Проектировщики используют аналоговое моделирование наряду с увеличением этапов моделирования цифро-аналоговой обработки сигнала из-за таких явлений, как температурная неустойчивость при отрицательном напряжении смещения (negative bias temperature instability, NBTI), которая увеличивает пороговое напряжение и снижает подвижность носителей заряда (что воздействует на синхронизацию, динамическую мощность, цепи утечки цифровых стандартных элементов). Критическим фактором воздействия NBTI в приборах Интернета вещей, мобильной электронике и во все возрастающей мере в автомобильной электронике является динамическая мощность.

НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Одной из наиболее актуальных проблем, с которыми в настоящее время сталкиваются проектировщики – на фоне сложности монтажа SoC, – стало проектирование более надежных аналоговых схем. Много лет назад аналоговые компоненты разрабатывались отдельно, а затем интегрировались в систему на уровне платы. Современные SoC нуждаются во все большей внутрикристальной функциональности, с тем чтобы отвечать растущим требованиям производительности и стоимости. Соответственно, за последнее десятилетие резко выросло использование в SoC блоков аналоговой и цифро-аналоговой обработки сигнала. В то же время ужесточились требования к срокам проектирования, обострилась конкуренция и задача создания и успешного вывода на рынок новой или модернизированной продукции стала труднее, чем когда-либо. Более того, группы разработчиков, занятые в одном проекте, теперь разбросаны по всему миру, что повышает уровень сложности.

Перед разработчиками аналоговых и цифро-аналоговых СФ-блоков стоит еще одна серьезная проблема – пере-

проектирование блоков на новые технологические уровни с меньшими топологическими нормами, что позволит воспользоваться улучшенными возможностями производства и более оптимизированными проектными нормами.

Тестовые кристаллы основных кремниевых заводов для новых технологических уровней дорого стоят, кроме того, для них иногда требуется несколько вариантов PDK, что увеличивает время проектирования. Отслеживание всех этих составляющих может оказаться проблематичным. У кремниевых заводов и разработчиков PDK, находящихся на вершине этой сложной цепочки, также существует ряд проблем. Например, на основе технологического процесса какого кремниевого завода или PDK был разработан конкретный СФ-блок? Какие заказчики используют конкретный PDK? Какие библиотеки элементов являются основой этого PDK?

Роль подобной информации становится все более важной по мере того, как растет число аналоговых компонентов и доля занимаемой ими площади в SoC, а также увеличивается сложность собственно проектирования.

Проектировщики всегда должны обладать возможностью выбирать и сравнивать аналоговые и цифро-аналоговые СФ-блоки для конкретных PDK, проверять прослеживаемость перед либо повторным использованием, либо перед модификацией для использования на другом технологическом уровне. Требуется быстрый доступ к проектным данным (включая спецификации, пакет программ верификации, нерешенные вопросы) и доступная база данных, в которой подробно описаны проблемы и пути их решения, выявленные в рамках реализации проекта. Проектировщикам теперь необходим единый корпоративный портал, на котором они легко могут получить доступ ко всем конструкциям вне зависимости от того, где в рамках компании (подразделение, страна) он реализовывался. Разумеется, такой доступ заинтересованным проектировщикам предоставляет сама фирма, исходя из собственных интересов.

Mutschler Ann Steffora. How To Improve Analog Design Reuse. Semiconductor Engineering, November 14th, 2018: https://semiengineering.com/how-to-improve-analog-design-reuse/

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, DOAJ.

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.

Мониторинг отклонений технологического процесса при производстве автомобильных ИС

Ключевые слова: автомобильные ИС, анализ отказов, отклонения процесса, пакеты услуг, технологический маршрут, технологический переход.

Журнал Solid State Technology продолжает печатать серию статей* по методам наилучшего удовлетворения поставщиками автомобильных ИС сложных требований своих клиентов к качеству. В них уже рассматривались вопросы отказов надежности автомобильных ИС, программы непрерывного совершенствования и стратегии повышения качества, дополнительные требования к чувствительности управления технологическим процессом, необходимой для выявления потенциальных скрытых дефектов (дефектов надежности). В данной статье рассматриваются стратегии мониторинга отклонений по всему технологическому процессу завода-производителя автомобильных ИС, обеспечивающие быстрое нахождение и выделение материалов с недопустимыми отклонениями.

Заводы по обработке полупроводниковых пластин, изготовляющие автомобильные ИС, обычно предлагают «автомобильные пакеты услуг» (automotive service packages, ASP). Эти ASP обеспечивают дифференцированные технологические маршруты – с такими элементами, как большая степень управления технологическим процессом и его мониторинг (или гарантированное использование лучших технологических инструментальных средств предприятия – golden process). Цель ASP – обеспечить соответствие производимых ИС строгим требованиям надежности автомобильной промышленности.

Но даже при использовании ASP отклонения от эталонного технологического процесса неизбежны, как и при любом другом управляемом процессе. Признавая это, производители автомобильных ИС уделяют особое внимание созданию комплексного плана управления своими критическими технологическими уровнями в рамках методики «Анализ режимов отказов и последствий отказов» (Process Failure Mode and Effects Analysis, PFMEA). Данный план детализирует технологические переходы, которые необходимо контролировать, и то, как они контролируются – т.е. подробно описывает такие элементы, как чувствительность контроля, частоту замеров и точные системы управления производственным процессом. Хорошо проработанный план управления технологическим процессом будет обнаруживать все отклонения, возникающие на пластинах на каждой технологической операции. Кроме того, он ясно покажет, какие отклонения повлияли на конкретные пластины, с тем чтобы поместить их в карантин и не допустить отгрузки бракованных ИС.

Для достижения этих целей план управления ASP неизменно будет требовать гораздо более широкого использования инструментальных средств кон-

* Предыдущие статьи опубликованы в «Экспресс-информации по зарубежной электронной технике» № 2(6651) от 1 февраля 2018 г.; № 8(6657) от 26 апреля 2018 г.; № 18 (6667) от 13 сентября 2018 г.

троля и метрологии, чем аналогичные планы на производстве ИС для потребительских товаров (базовые процессы). Анализ исходных данных управления технологическим процессом заводов по изготовлению автомобильных и неавтомобильных ИС, работающих по одним и тем же проектным нормам, показывает, что в первом случае производится больше этапов контроля дефектов и применяется больше типов проверок (контроль и метрология). Данные показывают, что в среднем:

- в технологических процессах производства автомобильных ИС используется примерно в 1,5–2 раза больше этапов контроля дефектов;
- в них чаще производятся замеры, как с точки зрения доли контролируемых партий пластин, так и с точки зрения числа контролируемых в данной партии пластин;
- технологические процессы производства автомобильных ИС отличаются повышенной чувствительностью, что позволяет выявлять более мелкие дефекты, способные повлиять на надежность.

Совместное воздействие этих факторов приводит к тому, что типичным производителям автомобильных ИС требуется на 50% больше возможностей управления технологическим процессом, чем производителям потребительских ИС.

На рис. 1 показано сопоставление числа контрольных мероприятий для технологических процессов изготовления автомобильных и неавтомобильных ИС, производящихся на одном и том заводе. За счет большего числа этапов проверок дефекты быстрее находятся в случае автомобильных ИС. Раннее обнаружение отклонений ограничивает число партий пластин, находящихся в условиях риска: меньшая и более четко определенная совокупность партий пластин подвергается более точному подсчету числа дефектов, что помогает соблюдать требования отслеживаемости, применяемые к автомобильным ИС. Партии с выявленными отклонениями помещаются в карантин для 100%-ного контроля средствами высокой чувствительности, по результатам которого решается, могут ли они быть отгружены в качестве автомобильных ИС, следует ли их утилизировать, или, если возможно, понизить их показатели

Источник: KLA-Tencor

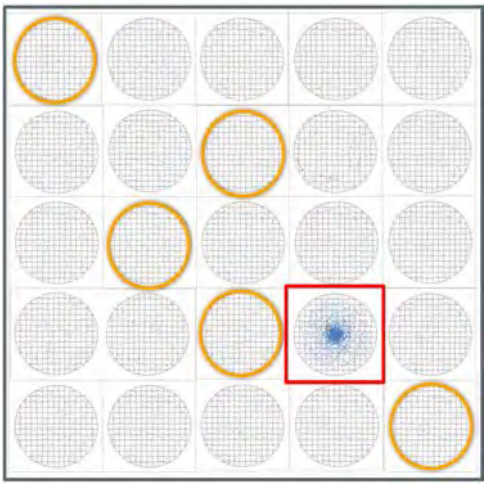
Рисунок 1. Сопоставление контроля автомобильных и неавтомобильных ИС

надежности и отгрузить для неавтомобильных применений.

Дополнительные точки проверки в ASP значительно упрощают поиск первопричин отклонений за счет сокращения диапазона их потенциальных источников. Меньшее число потенциальных источников помогает ускорить реализацию известных эффективных «8D»-методик (8D investigations) поиска и устранения проблем. Как ни странно, увеличение количества точек проверки также имеет тенденцию к уменьшению времени производственного цикла вследствие уменьшения изменчивости технологического процесса.

В то время как увеличенные возможности проверок помогают контролировать и сдерживать отклонения процесса, риски качества автомобильных ИС остаются. Действительно, каждая пластина может проходить собственный уникальный путь через множество технологических камер данного завода, в результате чего накопление суммы небольших изменений на сотнях этапов технологического процесса способно привести к формированию пластины, обработанной с отклонениями от технологического процесса («белая ворона»). Подобные пластины могут легко миновать контроль, если план управления процессом ориентирован на субдискретизацию (т.е. каждая выбранная пластина в партии проверяется более детально, но количество проверяемых пластин сокращается), и попасть в цепь поставок, увеличивая риски надежности. Для того чтобы решить этот вопрос, многие производители автомобильных ИС вводят в план управления процессом и парк контрольно-измерительного оборудования быстродействующие инструментальные средства проверки макродефектов, что позволяет проверять намного больше пластин в каждой партии. Это значительно повышает вероятность обнаружения «белых ворон» и предотвращения их выхода в цепь поставок автомобильных ИС.

Инструментальные средства контроля дефектов новейшего поколения могут совмещать на одной платформе чувствительность и возможности обнаружения дефектов, которыми ранее обладали различные средства контроля дефектов пластин предшествующих поколений, работавшие в условиях низкой и высокой освещенности контролируемой области.



Источник: KLA-Tencor

Рисунок 2. Устаревший план контрольной выборки в пять пластин на партию (желтые круги) может не позволить обнаружить одиночную пластину, обработанную с отклонениями от технологического процесса («белая ворона», красный квадрат). Быстродействующие инструментальные средства контроля макродефектов позволяют избежать этого за счет снижения субдискретизации и связанных с ней рисков

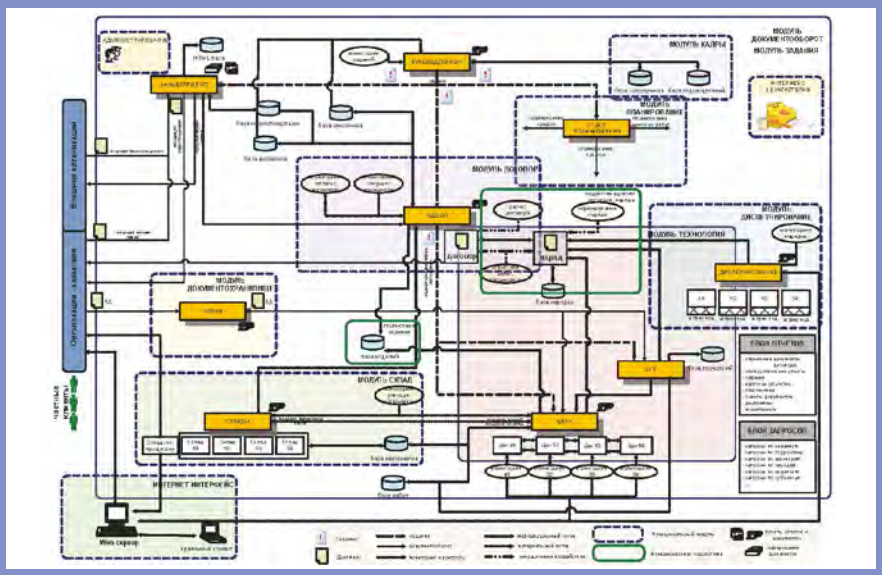
Производительность таких установок может достигать 150 пластин в час, при этом издержки владения[13] остаются низкими. На заводах по обработке пластин диаметром 200 мм по более крупным проектным нормам дополнительные возможности средств контроля дефектов часто позволяют обнаружить множество низкоуровневых отклонений процесса, которые ранее оставались незамеченными (рис. 2).

На заводах по обработке пластин, использующих новейшие процессы с минимальными топологиями, инструментальные средства контроля макродефектов нуждаются в увеличении чувствительности, чтобы заменить традиционный контроль технологического процесса и контроль отклонений пластин со сформированным рисунком, выполняемые средствами лазерного сканирования и широкополосными плазменными средствами контроля дефектов пластин. Однако их большая мощность сыграла важную роль в расширении существующих планов контрольных выборок для нахождения признаков на уровне пластины, что позволяет выявлять «белых ворон».

Последние разработки в области стратегий контроля надежности автомобильных ИС предполагают использование методов контроля дефектов на уровне кристалла. Один из таких методов, известный как «встроенное в процесс усредненное тестирование дефектных компонентов» (inline defect part average testing, I-PAT), использует методы обнаружения выбросов или провалов (аномальных значений) параметров для дальнейшего повышения способности распознавания кристаллов, которые способны пройти электрические испытания, но из-за скрытых дефектов могут позднее стать причиной отказа надежности. Этот метод будет подробно рассмотрен в следующей статье.

Price David W., Rathert Jay and Sutherland Douglas G. Process Watch: Monitoring for Excursions in Automotive Fabs. Solid State Technology. The Pulse, November 29, 2018: https://electroiq.com/2018/11/process-watch-monitoring-for-excursions-in-automotive-fabs/

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

Вычислительная химия и исследования в области новых полупроводниковых технологий

Ключевые слова: вычислительная химия, материалы, оптимизация, проектные нормы, теория функциональной плотности.

Производственные процессы микроэлектроники постоянно усложняются – по мере дальнейшего продвижения в область «глубоко субмикронных» проектных норм требуются новые материалы, новые методы формирования структур, корпусирования и т.п. Одним из таких методов является вычислительная химия – дисциплина, позволяющая оптимизировать процесс подбора материалов для перспективных производственных процессов и конструкций ИС.

По мере появления новых методов, позволяющих понять свойства материи и манипулировать ими на самых фундаментальных уровнях, исследователи, работающие в междисциплинарных областях материаловедения, все чаще добиваются успеха в синтезе новых видов материалов. Часто целью исследователей в этой области становится разработка материалов, обладающих свойствами, которые могут быть полезны для выполнения определенных функций. Такие материалы могут, например, быть более химически стабильными или устойчивыми к физическому разрушению, иметь благоприятные электромагнитные характеристики или реагировать предсказуемым образом на специфические условия окружающей среды.

Исследователи Марбургского университета под руководством профессора Тоннера решают задачу разработки функциональных материалов путем применения подходов, основанных на вычислительной химии. Для этого используются вычислительные ресурсы Центра высокопроизводительных вычислений в Штутгарте (High-Performance Computer Center Stuttgart, HLRS, один из трех немецких национальных суперкомпьютерных центров, входящих в Суперкомпьютерный центр им. Гаусса – Gauss Centre for Supercomputing), на которых изучаются явления созданных ими моделей. Эти явления происходят на атомном и субатомном уровне и позволяют понять, как те или иные факторы – молекулярная структура, электронные свойства, химические связи и взаимодействия между атомами – влияют на поведение материала. Отмечается, что при изучении различных явлений, таких как адсорбирование молекулы на поверхность (см. рисунок), другие ученые часто прибегают к методам физики или зонной теории твердого тела. Однако исследователям группы Тоннера важно посмотреть на это с точки зрения химии – необходимо более глубокое понимание химических реакций, того, как атомы соединяются в молекулы

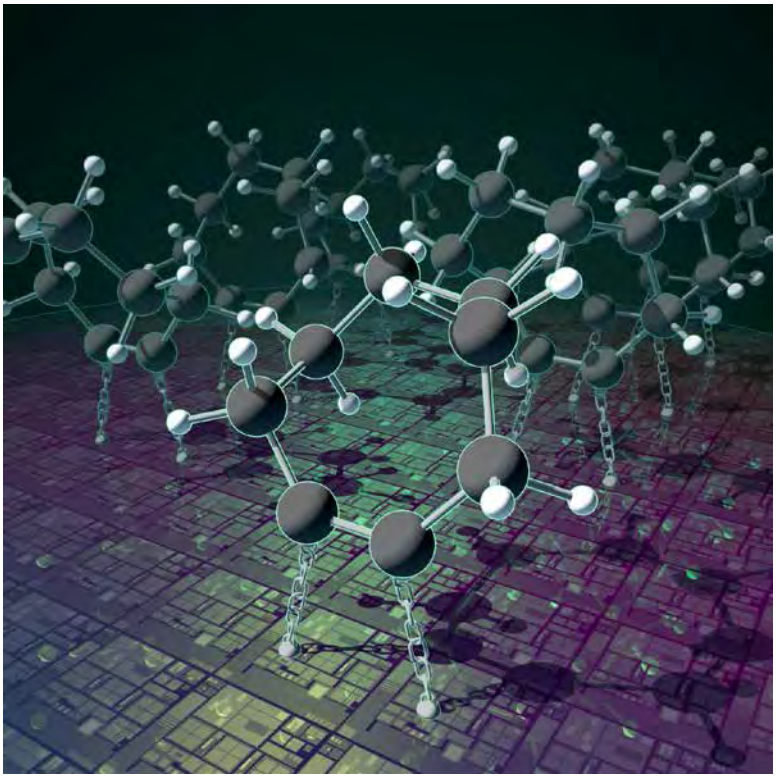
и реагируют при контакте друг с другом. Считается, что таким образом могут родиться новые и полезные идеи.

Результаты работ опубликованы в очередном выпуске WIRE's Computational Molecular Science. В статье подчеркиваются возможности подходов вычислительной химии с использованием высокопроизводительных вычислений для выявления интересных взаимодействий, происходящих между органическими молекулами и поверхностями. Также в целом демонстрируется, как эти взаимодействия могут быть поняты с точки зрения молекулярного и твердого состояния материалов. Знания, полученные в ходе экспериментов, могут быть полезны при проектировании поверхностей с нанесенными рисунками (структурированных поверхностей), что является одной из целей ученых, работающих над следующим поколением более мощных и эффективных полупроводниковых приборов.

ВНЕДРЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ХИМИЮ

Образование молекул и соединений происходит при соединении атомов вследствие их сближения и обмена электронами, вращающимися вокруг ядер. Уникальные свойства соединения обусловлены конкретными атомами, участвующими в реакции, физическими формами, которые принимают молекулы, энергетическими свойствами молекул и тем, как они взаимодействуют с соседними молекулами. Результирующие характеристики определяют, способны ли соединения оставаться стабильными или на их реакционную способность будут в той или иной мере влиять различные воздействия, такие как изменения температуры, давления и т.д.

Для изучения характеристик материалов в квантовом масштабе (т.е. в области, где ньютоновская меха-



Источник: Марбургский университет

Схематическое изображение органических молекул, адсорбированных на поверхности кремния

ника заменяется квантовой механикой – на расстояниях менее 100 нм) применяется вычислительный подход, именуемый теорией функционала плотности (DFT[14]). Для выведения формулы энергии материала DFT использует данные об изменении плотности электронов в молекуле – т.е. величину, которая может быть экспериментально измерена с использованием широко применяемой методики рентгеновской дифракции. Это, в свою очередь, позволяет получить данные о взаимодействиях между ядрами, между электронами и ядрами, т.е. о факторах, имеющих решающее значение для понимания химических связей и реакций.

Метод DFT дает полезную, хотя и статическую информацию об энергетических профилях изучаемых соединений. В целях лучшего понимания того, как на самом деле ведут себя системы молекул при взаимодействии с поверхностью, группа Тоннера применяет высокопроизводительные вычисления в HLRS, позволяющие осуществлять моделирование молекулярной динамики. В рамках моделирования отслеживается развитие систем молекул во времени на уровне атомов и электронов, при этом единицами временной шкалы являются пикосекунды (10^{-12} секунды). В подобных расчетах обычно используется 2–3 тыс. вычислительных ядер, работающих над задачей в течение недели. Группе Тоннера на текущий двухлетний цикл финансирования исследований выделено около 30 млн рабочих часов центрального процессора.

Рост вычислительных мощностей позволяет специалистам в области вычислительной и квантовой химии описывать реальные молекулярные системы. Отмечается, что всего 15–20 лет назад такие возможности были недоступны ученым, и описания молекулярных систем носили крайне приблизительный характер со многими допущениями.

В последние несколько лет специалисты в области вычислительной химии и теории твердого тела решили проблему распараллеливания своих кодов, что обеспечило возможность эффективного использования высокопроизводительных вычислительных систем. По мере того как суперкомпьютеры становятся все мощнее, исследователи готовы разрабатывать все более реалистичные модели экспериментальных систем в материаловедении.

РАБОТЫ В ОБЛАСТИ КРЕМНИЕВОЙ ФОТОНИКИ

Одна из областей, где в настоящее время используется вычислительная химия, – изучение способов совершенствования параметров кремния для применения в новых типах полупроводниковых материалов и приборов. Данная проблема приобрела актуальность в последние годы, когда стало ясно, что микроэлектроника исчерпала возможности совершенствования материалов и приборов с использованием только кремния. Группа Тоннера в одной из последних статей, опубликованных в журнале Beilstein Journal of Organic Chemisty, описала свои работы по расширению функциональности кремния за счет таких соединений, как фосфид галлия (GaP), арсенид галлия (GaAs) и органические соединения с их присутствием, что может привести к созданию новых типов полупроводниковых соединений и приборов на их основе. По существу, это работы в области кремниевой фотоники, где для передачи сигнала используются не электроны, а свет. Ожидается, что подобные приборы будут отличаться бóльшими производительностью и надежностью при меньшем энергопотреблении.

Для успешной реализации приборов нового типа необходимо понять, что происходит на границах раздела кремния и органических соединений. Реакция между этими двумя типами материалов должна точно контролироваться с целью формирования как можно более совершенной границы раздела. Вычисли-

В ЦЕНТРЕ ВНИМАНИЯ: МАРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Марбургский университет – первый протестантский университет Германии, основанный гессенским ландграфом Филиппом I Великодушным.

Дата основания: 1 июля 1527 г.

Место расположения: Марбург, федеральная земля Гессен, ФРГ.

Бюджет (2017 г.): 335,6 млн евро.

Численность преподавателей (2017 г.): 2,7 тыс. чел.

Численность административного персонала (2017 г.): 1,8 тыс. чел.

Численность студентов (август 2017 г.): 26,7 тыс. чел.

Факультеты: бизнеса и экономики, биологии, географии, германистики и искусств, иностранных языков и культур, истории и культурологии, математики и информатики, медицины, общественных наук и философии, педагогики, протестантской теологии, психологии, фармацевтики, физики, химии, юриспруденции.

Исследования Марбургского университета в области полупроводниковых технологий сосредоточены в сфере материаловедения и охватывают диапазон от атомов до функциональных материалов. Одни из основных исследовательских методов – вычислительная физика, вычислительная химия, моделирование.

Являясь взаимодополняющими науками, физика и химия создают основы для перспективных технологий в сфере средств связи и энергетики. Специалисты Марбургского университета в области химии синтезируют молекулы и материалы с заранее заданными свойствами, а ученые-физики изучают их функциональные характеристики.

Исследования полупроводниковых материалов и оптоэлектроники – области, где специалисты Марбургского университета получили международное признание. Особое внимание при проектировании, моделировании и формировании функциональных полупроводниковых материалов уделяется формированию поверхностей, а также границ раздела между атомами или молекулами элементов или веществ, входящих в конечную систему материала.

тельная химия позволяет рассмотреть соответствующие взаимодействия и процессы с элементными (на уровне элементов таблицы Менделеева) потребностями. Например, чтобы нанести покрытие на пластину кремния, молекулы жидкого прекурсора (материала-предшественника), содержащие молекулы GaAs, помещают в барботер, где они преобразуются в газообразную фазу. Эти молекулы прекурсора состоят из атомов, необходимых для формирования нового материала (Ga, As) и ионов или молекул, именуемых лигандами[15] и предназначенных для стабилизации атомов Ga и As в жидкой и газообразной фазе. Затем в процессе осаждения лиганды утрачиваются и, когда кремний занимает все место в системе, молекулы прекурсора осаждаются на его твердую поверхность. После адсорбции и потери лигандов атомы галлия и мышьяка присоединяются к кремнию, формируя пленку GaAs. Расположение атомов на поверхности при адсорбировании определяется химическими связями.

На прочность и плотность связей, с которыми адсорбируются молекулы-прекурсоры GaAs, влияет не только расстояние между ними и поверхностью кремния, но и взаимодействие между самими молекулами-прекурсорами. В одном из типов взаимодействий, именуемом межмолекулярным отталкиванием Паули, облака электронов перекрываются и отталкиваются друг от друга, в результате чего энергия, доступная для образования связи, уменьшается. В другом типе взаимодействий, именуемом дисперсионным взаимодействием притяжения (один из типов ван-дер-ваальсовых сил), изменение в электронных позициях в одном атоме вызывает перераспределение в других атомах, что приводит движения электронов в гармоничное состояние и понижает энергию системы в целом.

Ранее высказывалось предположение, что отталкивающие взаимодействия между атомами – наиболее важный фактор «управления» при адсорбировании на поверхность. Используя теорию функционала плотности и интригующие особенности распределения электронов, ученые определили, что способность одних атомов направлять другие атомы на место на поверхности также может быть результатом дисперсионных взаимодействий притяжения.

Более глубокое понимание подобных фундаментальных взаимодействий должно помочь разработчикам оптически активных полупроводниковых материалов улучшить адсорбцию молекул-прекурсоров на кремнии. Это, в свою очередь, сделает возможным объединение проводимости светового сигнала и микроэлектроники на основе кремния в одном приборе, который возьмет лучшее из областей оптической и электронной проводимости.

Computational Chemistry Supports Research on New Semiconductor Technologies. Solid State Technology. Wafer News, November 20, 2018: https://electroiq.com/2018/11/computational-chemistry-supports-research-on-new-semiconductor-technologies/

Особенности рынка печатной электроники

Ключевые слова: печатная электроника, гибкая электроника, растяжимая электроника, органическая электроника.

Печатная электроника – активно развивающееся направление, обладающее значительным потенциалом для дальнейшего роста. В статье рассматриваются ее текущее состояние, преимущества применяемых в рамках данного направления технологий, барьеры на пути их развития и возможные стратегии их вывода на рынок.

Долгие годы развитие печатной электроники было связано с производством проводников для мембранных клавиатур, устройств обогрева ветрового стекла, антенн, электродов для датчиков глюкозы, шин для фотогальванических элементов и др. В последнее время особенно интенсивно развивается

автомобильная печатная электроника, где внедряются печатные 3D-антенны, встроенные фотоэлементы, дисплеи, изделия интеллектуальной упаковки, а также чувствительные элементы для медицинских применений.

Сегодня для развития печатной электроники, которая предполагает создание самых разнообразных компонентов (дисплеев, транзисторов, фотоэлементов), прилагаются огромные усилия. При этом применяются различные технологии – от струйной до рулонной аналоговой печати.

Такие направления, как печатная, гибкая и органическая электроника, можно рассматривать совместно. Для них характерно производство самых разнообразных электронных и электрических компонентов с применением различных материалов и технологических процессов, которые находятся на разных стадиях зрелости и характеризуются разными темпами роста и рентабельностью.

В 2018 г. наибольшую долю рынка печатной, гибкой и органической электроники заняли дисплеи (электрофорезные, электролюминесцентные, электрохромные). В данную сферу направляется максимальный объем инвестиций, позволяющий развивать новые технологии. Интересный пример попытки создания перспективного направления – деятельность компании JOLED (г. Токио, Япония), которая планирует наладить к 2020 г. массовое производство печатных OLED-дисплеев.

Другое важное направление – печатные и гибкие датчики. Примерами зрелой продукции в данном секторе служат тест-полоски для анализа на глюкозу, силовые и емкостные датчики. К продукции на ранней стадии развития относятся органические фотодетекторы, печатные датчики температуры и газоанализаторы.

Еще одно направление – производство токопроводящих чернил. В 2017 г. рынок фотовольтаики развивался особенно активно. В данном секторе постоянно появляются новые технологии – например, компания DuPont (г. Мидленд, шт. Мичиган, США) развивает направление формовочной электроники. К другим новым направлениям относятся производство растяжимых чернил, а также создание новых технологий для крепления кристалла и технологий экранирования.

Печатная электроника обладает множеством преимуществ по сравнению с другими производственными технологиями:

- увеличение площадей производства электроники и электротехники;
- возможность нанесения устройств на различные подложки, в том числе гибкие и растяжимые, а также использование разлагаемых материалов (например, бумаги);
- снижение отходов материалов;
- меньшая длительность цикла разработки;
- возможность создания уникальных электрических схем с помощью цифровой печати и струйных технологий;
- возможность переориентации существующих типографских мощностей (например, специализирующихся на флекс- или гравийной печати) на развитие новых направлений печатной электроники.

С другой стороны, у печатной электроники хватает и проблем. Прежде всего речь идет о недостаточной доступности материалов, используемых для создания печатных электронных компонентов. Над решением данной проблемы в течение последних двух десятилетий активно работают различные компании, создавая новые виды материалов.

Другая проблема связана с разрешением печати. Традиционные технологии печати зачастую работают с разрешениями, которые доступны для восприятия человеческим глазом, однако для создания электронных компонентов такого уровня недостаточно. Развитие печатной

электроники приводит к постепенному усовершенствованию технологий печати: сейчас в трафаретной печати применяют проводящие линии с шириной 30 мкм и зазорами в 30 мкм, а для создания краевых электродов сенсорных экранов и печатных проводящих элементов солнечных панелей – линии с размерами ниже 25 мкм. При этом в обоих указанных направлениях существует значительная потребность в технологиях создания линий с еще меньшей шириной при сохранении такого же уровня проводимости.

Одновременно развиваются технологии гравюрной печати, дающие возможность изготавливать токопроводящие дорожки размером в 5 мкм. Планируется создание металлической сетки для использования в качестве прозрачного токопроводящего слоя для сенсорных экранов.

В области струйной печати были продемонстрированы возможности выйти на уровень 10 мкм, однако такие технологии пока не обладают достаточной надежностью. На сегодняшний день большинство современных направлений печатной электроники с применением струйных технологий используют токопроводящие дорожки размером 50–100 мкм.

Первоначально стратегия выхода на рынок новых технологий печатной, гибкой и органической электроники была связана с попыткой заменить уже существующие электронные устройства и компоненты, подобно тому как OLED-дисплеи заменяют LCD, а органические фотоэлементы заменяют кремниевые. При этом организация производства новой продукции зачастую требует огромных инвестиций, в то время как традиционные технологии обладают серьезным преимуществом в виде низкой цены продукции, которая удерживается за счет эффекта масштаба. Чтобы завоевать рынок, инновационная продукция должна обладать улучшенными характеристиками: например, OLED-дисплеи превосходят большинство дисплеев LCD, и масштабные инвестиции наряду со стабильным спросом смогли привести к созданию нового стремительно развивающегося рынка. Другие технологии востребованы в связи с тем, что помогают преодолеть ограничения предыдущих, как это произошло в случае с заменой оксида индия-олова для сенсорных экранов на прозрачные токопроводящие пленки. В некоторых случаях развитие новых направлений обусловлено преимуществами самих технологических процессов, как в случае с применением технологии электронных чернил при создании дисплеев для электронных книг. В сфере логических схем, систем питания и органической фотовольтаики в последнее время наблюдается создание вертикально интегрированных структур, что позволяет им успешно выходить на новые рынки.

Потребителей привлекают улучшенные конструктивные параметры печатной электроники, как в случаях с появлением гибких дисплеев, аккумуляторов и солнечных панелей. Спрос на новые технологии существует прежде всего со стороны производителей носимых устройств, смартфонов, автомобильной электроники и бортового оборудования. Востребованы гибкие и растяжимые устройства, способные прикрепляться к изогнутой поверхности, покрывать значительные площади кожи, внедряться в трехмерные структуры. Потребителем ценятся эстетические свойства новой продукции, удобство ее использования и производительность, которые могут существенно отличаться даже в рамках одного вида продукции, как в случае с OLED-освещением. Такие показатели, как малые размеры изделия и низкий вес, особенно востребованы в области автомобильной и потребительской электроники.

Печатные и гибкие компоненты зачастую используются совместно с традиционными жесткими компонентами – например, когда кремниевая ИС, печатная антенна и чувствительная матрица со-

единяются между собой. Совместное использование электронных компонентов разных типов порождает новые вызовы в сферах системной разработки, испытаний и автоматизации процессов их интеграции. Особенно сложное направление – внедрение электронных компонентов в трехмерные структуры.

Иногда поставщики печатных компонентов становятся полноценными разработчиками новых решений, как в случае с созданием печатного транзистора. Из попыток максимально использовать преимущества новых технологий рождаются новые рынки. Появляется все больше видов продукции печатной электроники, востребованных реальным сектором.

Печатная электроника открывает новые возможности для развития компаний, занимающихся традиционной печатью: их оборудование может быть пригодно для создания новых функциональных материалов, однако при этом следует принимать во внимание различия в производственно-сбытовой цепочке и потребителях между указанными секторами.

Das Raghu. New Business Opportunity: Consider Printed Electronics. Printing Impressions, November 26, 2018: https://www.piworld.com/article/new-business-opportunity-consider-printed-electronics/

ПУБЛИКАЦИИ В НАУЧНЫХ ЖУРНАЛАХ «ВОПРОСЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» И «РАДИОПРОМЫШЛЕННОСТЬ»

Преференции для авторов
- Бесплатная публикация статей.
- Качественное двустороннее анонимное рецензирование.
- Сжатые сроки публикации.
- Серьезная редактура.
- Высокий уровень перевода.
- Индекс DOI каждой статье.
- Помощь в продвижении научной публикации.

Подача рукописи
Рукопись статьи, оформленную в соответствии с правилами представления статей (размещены на сайтах www.radioprom.org, vre.instel.ru; могут быть высланы по запросу), а также акт экспертизы присылают по e-mail: publish@instel.ru или с помощью электронной формы на сайте www.radioprom.org.

Этапы редакционного процесса
Рецензирование, редактирование, корректура, верстка, согласование с авторами, публикация. На всех этапах редакция взаимодействует с авторами.

Индексирование опубликованных статей
РИНЦ, EBSCO, Google Scholar, РГБ, ВИНИТИ.

Ускоренное развитие мобильных сетей для беспилотных автомобилей

Ключевые слова: телекоммуникационный сектор, искусственный интеллект, мобильные сети, беспилотные автомобили.

В эпоху искусственного интеллекта телекоммуникационные компании должны быть готовы взять на себя лидерство в области развития мобильных сетей для беспилотных автомобилей.

Как известно, человечество уже пережило три промышленных революции, в процессе которых последовательно сменяли друг друга механическая, электрическая и информационная эпохи. Сегодня мы наблюдаем четвертую промышленную революцию, драйвером которой выступает искусственный интеллект.

В октябре 2018 г. компания Huawei (г. Шэньчжэнь, КНР) представила комплексное портфолио продуктов в сфере ИИ, включающее ИС, обучающие и логические среды разработки, а также инструменты поддержки ИС и приложений. Предусмотрены возможности реализации различных сценариев внедрения продуктов ИИ, в том числе использование частных и общественных «облаков», различных форматов краевых вычислений, потребительских устройств и устройств Интернета вещей.

Сейчас наступает эра 5G, при этом предыдущие стандарты (2G, 3G, 4G) сосуществуют с новым. В связи с этим возрастает сложность мобильных сетей, что создает новые вызовы с точки зрения их внедрения. Управление сетями уже невозможно осуществлять вручную. Использование новых технологий и архитектур, таких как Massive MIMO и гетерогенных сетей, затрудняет процесс максимизации сетевого потенциала. В силу того, что стандарт 5G позволяет предоставлять более диверсифицированные услуги с помощью мобильных сетей, значительно усложняются процессы управления разработкой пользовательского интерфейса. Преодолению указанных проблем должно способствовать внедрение технологий ИИ: их глубокая интеграция предоставит возможность обеспечивать наилучший пользовательский опыт, увеличить эксплуатационную эффективность сетей и наконец перейти к воплощению в жизнь мобильных сетей для беспилотных автомобилей.

Решение данной задачи предполагает не использование каких-то отдельных инновационных продуктов, а комплексные преобразования, связанные с внедрением инновационных системных архитектур и бизнес-моделей. Huawei призывает все отраслевые компании объединить усилия для разработки четких стандартов в новой области и по-

МНЕНИЕ ЭКСПЕРТА

Призыв Huawei объединить усилия отраслевых компаний для разработки четких стандартов в новой области и последующего внедрения технологических инноваций на их основе вполне понятен и ожидаем. Сегодня мы наблюдаем бурное развитие возможностей мобильных сетей для обеспечения работы беспилотных автомобилей во всем мире. При этом Китай можно назвать общемировым полигоном по отработке новых технологий и шире – по переходу к цифровой экономике и цифровому обществу. В этой связи наработки Huawei интересны не только в технологическом плане, но и в организационном – как им удается объединять усилия различных технологических партнеров, чтобы достичь цели, которая находится выше возможностей каждого из партнеров в отдельности.

В Северной Европе активно тестируются сети 5G, в том числе в части обеспечения ими работы беспилотных автомобилей. При использовании беспилотников наиболее актуальными становятся вопросы коммерческого управления таким транспортом и обеспечение безопасности его работы.

Традиционные системы Fleet Management, использующие сервисы телеметрии, геопозиционирования и удаленного управления, адаптируются под эксплуатацию автомобилей, управляемых искусственным интеллектом в сложной городской среде. Нетрудно предположить, что и сами системы Fleet Management также являются облачным продуктом. Данными системами пользуются транспортные компании, однако элементы этих систем, в частности диагностика автомобиля с помощью телеметрических датчиков, подсказки водителю в процессе вождения, уже запущены в качестве стартап-проектов на потребительском рынке.

Вопросы стандартизации разработки цифровой экосистемы автомобиля с наивысшим уровнем безопасности регулируются стандартом ISO 26262 Road vehicles – Functional safety – актуализированной версией стандарта IEC61508.

Судя по международной активности в обмене опытом и координации общих усилий, массированное внедрение специальных возможностей мобильных сетей, а вместе с ними и роботизированного транспорта, явно не за горами.

Роман Сулицкий, *руководитель продаж направления ИТ-сервисов Tieto*

следующего внедрения технологических инноваций на их основе. Компания ориентируется на обеспечение улучшенного эксплуатационного опыта и повышение эффективности и предлагает пошаговый подход к построению мобильных сетей для беспилотного транспорта, в котором выделяются стадии планирования, внедрения, оптимизации процессов эксплуатации и технического обслуживания, а также непосредственного предоставления услуг. В своей

стратегии компания смогла выделить пять уровней развития мобильных сетей для беспилотного транспорта и 12 целей, к которым нужно стремиться, включая развитие сценарного планирования, автоматической конфигурации оборудования, автоматизации контроля аварийных сигналов и предоставления услуг в зоне покрытия.

Мобильные сети для беспилотных автомобилей используют общую архитектуру телекоммуникационных сетей для беспилотного транспорта от Huawei – SoftCOM AI. Увеличение мощности умных мобильных сетей должно достигаться сразу на всех уровнях (узловом, сетевом и облачном) с учетом их уникальных характеристик.

На уровне узлов сети Huawei планирует внедрять сценарное картирование, сбор и извлечение данных, а также умные алгоритмы с низким временем ожидания. В результате обеспечивается возможность проведения анализа данных в режиме реального времени и быстрого получения логических выводов на его основе.

На сетевом уровне Huawei планирует при организации процессов эксплуатации и технического обслуживания уйти от ориентации на сетевые элементы к сценарной ориентации. Вместо традиционного управления сетями планируется обеспечить автоматизированное умное управление на основе мониторинга состояния сети с возможностью прогнозирования рисков, реализуемое путем использования умных средств распознавания угроз.

На облачном уровне будут предоставляться умные услуги нового поколения с использованием технологий моделирования и обучающих мощностей. В частности, Huawei планирует направить свой опыт управления автоматизированными сетями на обеспечение операторов сетей средствами разработки и моделирования на основе ИИ, а также обучающими сервисами. В ближайшей перспективе – развитие направления «ИИ как услуга» (AI as a Service, AaaS), совершенствование используемых моделей работы, внедрение новых сервисов.

Сейчас Huawei работает с 400 сетевыми операторами по всему миру. За плечами компании – 30-летний опыт эксплуатации и обслуживания более 150 телекоммуникационных сетей. Одна из ключевых сильных сторон компании – ее команда экспертов в области телекоммуникационных сетей, способных применить свои навыки для успешного воплощения в жизнь мобильных сетей для беспилотных автомобилей.

Следует понимать, что создание мобильных сетей для беспилотных автомобилей – продолжительный процесс. Его пошаговое воплощение – сценарий за сценарием – потребует значительного времени, и только затем будет полностью понятна ценность данной инновации. Сейчас Huawei предусмотрела семь возможных сценариев автоматизации мобильных сетей для беспилотного транспорта. При этом компания регулярно проводит исследования, касающиеся возможности внедрения узлов сетей и снижения энергопотребления, и постоянно обновляет свои данные о пользовательских сценариях. Несмотря на сложное устройство сетей нового поколения, Huawei работает над тем, чтобы предоставить потребителям максимально простой в использовании продукт.

Telcos Must Take the Lead to Speed Development of Autonomous Driving Mobile Networks with AI. GlobeNewswire, November 26, 2018: https://globenewswire.com/news-release/2018/11/26/1656903/0/en/Telcos-Must-Take-the-Lead-to-Speed-Development-of-Autonomous-Driving-Mobile-Networks-with-AI.html

ГЛОССАРИЙ

[1] **Геномика (genomics)** – раздел молекулярной генетики, посвященный изучению генома и генов живых организмов.

[2] **Генетическое секвенирование (gene-sequencing)** – определение первичной биомолекулярной структуры (последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК).

[3] **Проектирование под эксперимент (также экспериментальное проектирование; design of experiment, DoE)** – вид проектирования любой задачи, направленный на описание и объяснение изменений информации в условиях, которые гипотетически отражают эти изменения.

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

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

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

[7] **FinFET** – полевой МОП-транзистор с двумя изолированными затворами, созданный на КНИ-подложке. 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). FinFET-приборы характеризуются значительно меньшим временем переключения и большей плотностью тока, чем широко распространенная КМОП-технология с планарными структурами. Однако трехмерная структура FinFET создает дополнительные технологические трудности при проведении процессов литографии, осаждения и травления слоев.

[8] **Смещение подложки (body bias)** – напряжение, при котором подключен контакт подложки (четвертый канал МОП-структуры). Эффект смещения подложки возникает тогда, когда подложка не смещается на тот же самый уровень напряжения, что и исток (в основном при формировании плоскостного диода с p-n-переходом – в случае n-канального МОП-транзистора, например).

[9] **HKMG (high-k metal gate (process))** – процесс формирования ИС с металлическим затвором и высоким значением диэлектрической проницаемости диэлектрика.

[10] **Прямое смещение подложки (forward body bias, FBB)** – методика прямого смещения подложки применяется для улучшения эксплуатационных характеристик (производительности) ИС.

[11] **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.

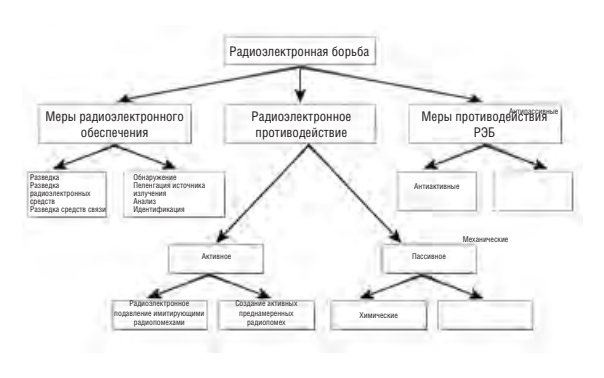
[12] **Центрирование конструкции (design centering)** – методология выбора наиболее предпочтительного варианта проекта (в отличие от оптимизации по какому-либо одному критерию или параметру).

[13] **Издержки владения (cost of ownership, CoO)** – затраты на приобретение (разработку) и содержание (эксплуатацию).

[14] **Теория функционала плотности (density functional theory, DFT)** – метод расчета электронной структуры систем многих частиц в квантовой физике и квантовой химии. В частности, применяется для расчета электронной структуры молекул и конденсированного вещества. Один из наиболее широко используемых и универсальных методов в вычислительной физике и вычислительной химии.

[15] **Лиганды (ligands, от лат. ligare – связывать)** – атомы, ионы или молекулы, связанные с неким центром (акцептором). В химии комплексных соединений – частицы, присоединенные к одному или нескольким центральным (комплексообразующим) атомам металла.

В СЛЕДУЮЩЕМ ВЫПУСКЕ

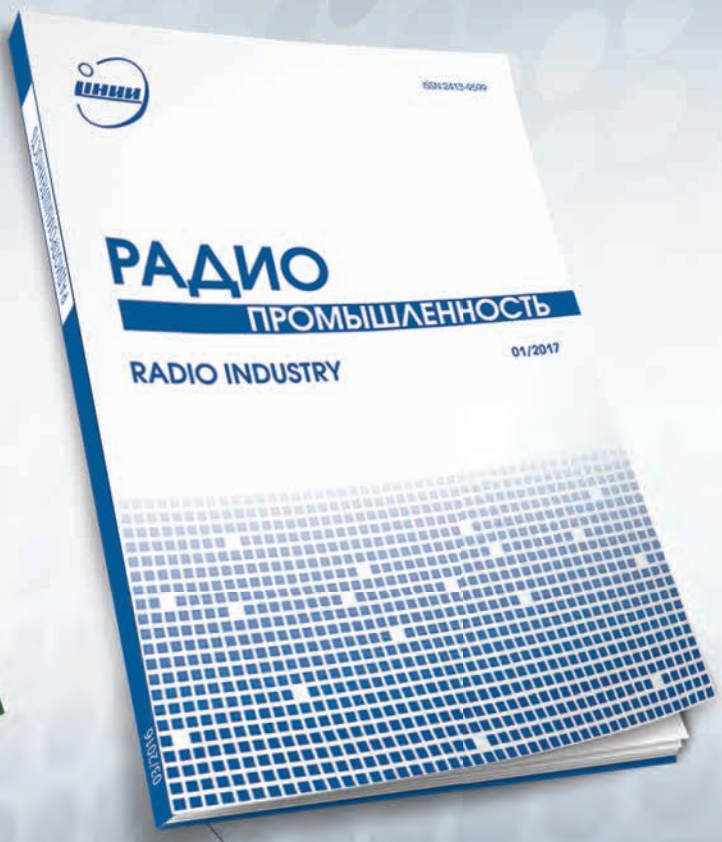


- Япония, как и другие страны, ищет свою исключительную нишу в области искусственного интеллекта и Интернета вещей. Поиск ведется в максимально широком диапазоне – с целью захвата как можно большей доли в различных прикладных сегментах этих направлений. На прошедшей в начале ноября 2018 г. в Йокогаме торгово-промышленной выставке по встраиваемым технологиям – Embedded Technology 2018 Exhibition – японские и иностранные фирмы демонстрировали свои разработки в этой области. При этом Японию представляли не только крупные, хорошо известные фирмы, но и множество стартапов.
- Впервые за последнее десятилетие оборонный бюджет США на следующий финансовый год был принят до окончания текущего финансового года. Оборонный бюджет 2019 г., похоже, имеет плюсы практически для всех заинтересованных сторон, включая первое за девять лет повышение денежного довольствия личному составу ВС. В любом случае 2019 г. должен стать удачным для производителей РЧ- и СВЧ-систем, поскольку реализуемая МО США «Третья компенсационная стратегия» (Third Offset Strategy) предусматривает увеличение использования их продукции.
- За последние два года продажи ДОЗУ и флэш-памяти NAND-типа достигли рекордных значений. С 2016 по 2018 гг. их совокупные продажи выросли с 77 млрд до почти 177 млрд долл. (прогноз), а среднегодовой темп роста продаж в сложных процентах (CAGR) составил 32%. Эти годы оказались впечатляющими не только с точки зрения доходов от продаж, но и с точки зрения ценообразования и капитальных расходов. Специалисты исследовательской фирмы Yole Développement (г. Лион, Франция) попытались проанализировать ситуацию.

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.

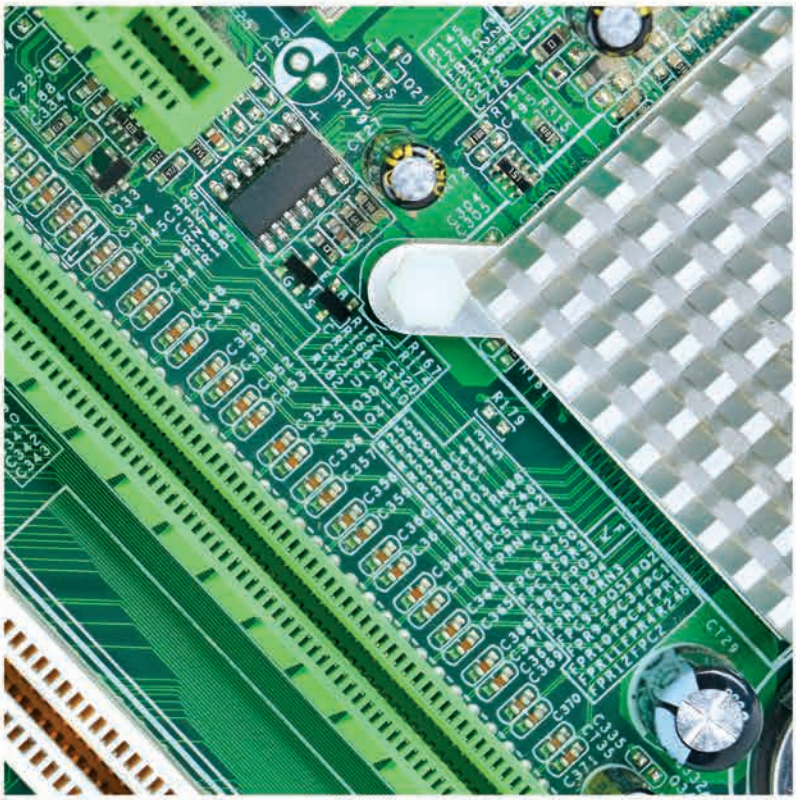
E·X·P·O ELECTRONICA

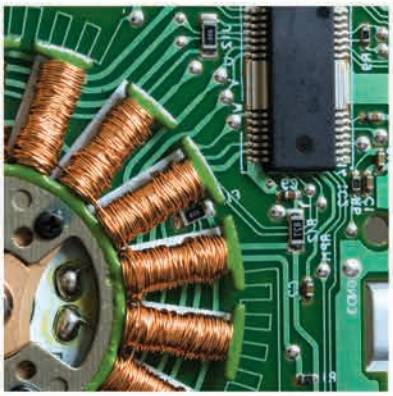
ufi Approved Event

15–17 апреля 2019

Москва,
Крокус Экспо

Самая крупная в России выставка электронных компонентов, модулей и комплектующих





Участники:
431 из **14** стран

Посетители:
11 073
из **66** регионов России

Совместно с выставкой

electrontech EXPO

Организатор
Группа компаний ITE
+7 (499) 750-08-28
electron@ite-russia.ru

Забронируйте стенд
expoelectronica.ru

Только для специалистов