

Перспективные направления микроэлектроники, реализация стратегии развития радиоэлектронной отрасли

Пленарная часть конференции «ЭКБ и микромодули»

О. Казанцева



С 30 сентября по 5 октября 2019 года в городе Алушта, в Республике Крым, состоялся V Международный форум «Микроэлектроника 2019», в рамках которого прошла научно-техническая конференция «ЭКБ и микроэлектронные модули». На пленарном заседании с докладами выступили руководители ведущих научно-исследовательских институтов и предприятий радиоэлектронной отрасли. Представители НИИ рассказали о направлениях развития современной микроэлектроники, а специалисты предприятий – о реализации Стратегии развития отечественной микроэлектроники на период до 2030 года.



С приветственным словом к участникам конференции обратился **заместитель Министра промышленности и торговли Российской Федерации Олег Евгеньевич Бочаров**. Основные темы его выступления – стратегия развития отрасли, заполнения внутреннего рынка отечественной продукцией и защита российских производителей в интересах развития радиоэлектронной промышленности.

Недавно был принят один из основополагающих документов – Постановление Правительства РФ от 10 июля 2019 года № 878 «О мерах стимулирования производства

радиоэлектронной продукции на территории Российской Федерации при осуществлении закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд, о внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2016 года № 925 и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации».

В соответствии с этим документом будет создан единый реестр радиоэлектронной продукции, включающий аппаратуру, которая отвечает заданным критериям российского происхождения. На нее распространяются 30%-ные преференции при осуществлении всех видов закупок. «Иными словами, рынок мы не закрываем, мы начинаем его развивать», – подчеркнул Олег Бочаров. Регулирование единого реестра по частям будет передано консорциумам,

чтобы любой заказ быстро появлялся в соответствующем дизайн-центре.

Формируемый реестр планируется декомпонировать на блоки, модули с соответствующей документацией. Наличие в конечном устройстве хотя бы одной профинансированной разработки от электронной промышленности повышает рейтинг конечного устройства, что в результате будет стимулировать развитие сегмента отечественных устройств.

В заключение Олег Евгеньевич Бочаров еще раз подчеркнул, что создание производственных консорциумов будет способствовать, во-первых, развитию отрасли, так как формируется единая среда разработок, а во-вторых, – структурированию и насыщению рынка, поскольку главная задача консорциума – увеличение объема рынка в своем сегменте и соответственно выпуск конкурентной продукции. Эта политика должна найти отражение в разрабатываемых департаментом радиоэлектронной промышленности документах.

Почетный президент научной конференции «Микроэлектроника – ЭКБ и электронные модули», руководитель Приоритетного технологического направления «Электронные технологии» РФ, руководитель Межведомственного совета главных конструкторов по электронной компонентной базе РФ, академик РАН Геннадий Яков-



левич Красников выступил с докладом, в котором проанализировал проблемы и перспективы развития квантового шифрования передачи данных, а также рассказал о развитии технологии радиофотоники.

Квантовая криптография – метод защиты коммуникаций, который, в отличие от традиционной криптографии, использующей математические методы для обеспечения секретности информации, основан на физических законах.

Современные способы шифрования очень развиты и широко используются на симметричных и асимметричных алгоритмах, где используются два ключа: один открытый, другой закрытый, связанные между собой «асимметричной функцией». Найти ее простым вычислением очень сложно: с использованием современных вычислительных мощностей можно затратить миллионы лет. Но в 1994 году американский ученый Питер Шор разработал алгоритм для идеального квантового компьютера, показавший возможность очень быстрого разложения простых чисел на множители и нахождения асимметричной функции. Это произвело информационный взрыв: надежды на стойкость традиционных алгоритмов рухнули. Начался поиск альтернативных способов шифрования, одним из которых стала квантовая криптография.

В 1984 году был создан первый протокол квантового распределения ключа. Согласно протоколу, передача зашифрованного сообщения велась по открытым каналам, а по закрытым постоянно передавались ключи. Алгоритм шифрования ключа предусматривал четыре вида поляризации и был основан на квантовой неопределенности Гейзенберга. Конечная цель квантового распределения ключей – создание сетевой полностью автоматизированной системы смены ключей без участия оператора: после запуска системы человек никогда не имеет доступа к ключам, используемым для шифрования.

В докладе были рассмотрены существующие протоколы квантовой криптографии, а также уязвимости систем передачи данных, основанные на физике работы квантовых приборов. Г. Я. Красников отметил, что до сих пор остаются нерешенными многие вопросы взаимодействия квантовых объектов с измерительными приборами. Из-за этого возникают различные уязвимости, возможности для вмешательства в коммуникации третьей стороной. Есть также и технические проблемы организации безопасных коммуникаций из-за физического ограничения дальности передачи квантового объекта в изолированной среде – до 100 км без специальных квантовых повторителей, усиливающих сигнал. Однако сегодня постоянно идет совершенствование технологий: в докладе были рассмотрены возможности увеличения стойкости передачи квантовых объектов по оптическим каналам связи к различным вредоносным воздействиям, а также новые перспективные алгоритмы шифрования.

Рассказывая о ведущихся мировых экспериментах по передаче квантовых данных, Г. Я. Красников отметил несколько российских проектов: Российский квантовый центр, который запустил первую городскую линию связи на оптоволокне; совместную работу коллективов МГУ и «Инфотекс» – они представили образец телефона, где шифрование данных обеспечивается за счет квантового распределения ключей. Также он отметил запуск физиками лаборатории квантовых оптических технологий МГУ при поддержке «Ростелекома» и Фонда перспективных исследований автоматической системы квантовой коммуникации на расстоянии 32 км – между Ногинском и Павловским Посадом.

Радиофотоника появилась относительно недавно как дисциплина на стыке фотоники, микроэлектроники, СВЧ-техники и радиоэлектроники. Она направлена на изучение физики и технологии переноса и преобразования СВЧ-сигнала на оптической несущей за счет эффектов волновой и квантовой оптики, а также электроники под управлением фотоники. Преимущества этой технологии очевидны, так как отсутствуют РС-задержки, джоулевое тепловыделение, устройства менее чувствительны к электромагнитному излучению.

В своем докладе Г. Я. Красников отметил, что применяемый ранее подход, при котором модулированный сигнал обрабатывался на отдельных вычислительных мощностях, меняется: уже очевидно, что обработка первичной

информации фотонными способами даст огромные преимущества. Перспективы применения новой технологии в радарах, системах связи и передачи данных очень большие: разрешающая способность средств связи и радаров увеличится в десятки раз. Была рассмотрена перспективная элементная база, необходимая для развития в России технологий радиофотоники, в первую очередь для максимального преобразования и обработки сигнала в фотонных кристаллах. Также были рассмотрены различные САПР для проектирования компонентов и IP-блоков радиофотоники.

Докладчик отметил, что финансирование этого направления уже ведется некоторыми фондами, такими, например, как фонд Сколково. В 2016 году Минпромторгом России было открыто направление «Фотоника», и сейчас формируется комплексная научно-техническая программа по направлению радиофотоника на 2019–2023 годы, по которой будет выделено 6,5 млрд руб.

В завершение своего доклада Г. Я. Красников выразил надежду на дальнейшее проведение поисковых работ по этим тематикам, которые приведут к созданию изделий, востребованных заказчиками, и активную подготовку кадров для развития перспективных технологий.



Название доклада **директора Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга, к. э. н. Василия Викторовича Шпака** – «Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года». В выступлении отмечалось, что сегодня микроэлектроника востребована практически во всех отраслях.

«Использование устройств и аппаратуры в конечных услугах – та первая оболочка, внешняя среда, которая определяет требования к самой аппаратуре, к компонентной базе, программному обеспечению – всему, что с этим связано», – констатировал докладчик.

Поскольку электроника в настоящее время – одно из ключевых и формирующих условий безопасного, эффективного развития государства, перед отраслью поставлены конкретные стратегические цели. Предприятиям необходимо сосредоточиться на решении вопросов, связанных с формированием спроса – обеспечить «доминирование на российском рынке и экспансию на новый формирующийся рынок».

«Современная экономика – это экономика услуг, которые диктуют нам, разработчикам, как выстраивать бизнес. Решающее значение для развития микроэлектроники имеет рынок услуг на основе программно-аппаратных комплексов – платформ, которые формируют виртуальную среду как основу цифрового будущего. Чтобы развивать микроэлектронику, необходимо понимать рынок и обеспечивать развитие всех

звеньев цепочки: от приборов и аппаратуры до программного обеспечения и готовых платформ. Немаловажно также обеспечить качественное предоставление услуг на этих платформах, гарантийную и постгарантийную поддержку, сопровождение в течение всего жизненного цикла. Наличие ответственных решений на всех этих уровнях – критическая необходимость для обеспечения суверенитета нашей страны».

Директор Департамента радиоэлектронной промышленности рассказал об основных направлениях, на которых необходимо сосредоточиться предприятиям электронной отрасли: кадровые ресурсы, научно-техническое развитие, рынки и продукты, средства производства, эффективность управления, стандартизация, отраслевая информационная среда, капитализация.

Большое внимание в выступлении было уделено теме кооперации предприятий отрасли. «Электроника становится прибыльной только с того момента, когда достигает определенного масштаба, и процессы идут по экономическому циклу. Для того чтобы обеспечить эффект масштаба, нам необходимо объединяться в технологические, кооперационные цепочки. Поэтому кооперация, сотрудничество, долгосрочные кооперационные связи – наша общая задача. Только вместе, только сообща мы сможем конкурировать с иностранными партнерами», – подчеркнул Василий Викторович Шпак.

«Мы приглашаем в консорциумы не только разработчиков и производителей микроэлектроники, электронных устройств и аппаратуры, но и сертификационные центры, испытательные лаборатории и т. п. Безусловно, это потребует активного участия фундаментальной науки, а также образовательных учреждений, ведь для выстраивания всей цепочки будут нужны подготовленные кадры, причем как в сфере разработки, так и использования тех или иных решений. Сегодня уже более 20 заявок на создание консорциумов, надеюсь, до конца года 5–7 начнут свою деятельность», – сказал директор департамента.

Докладчик выделил необходимость создания и поддержания единой отраслевой информационной среды, доступной всем предприятиям, и системы мониторинга на протяжении полного жизненного цикла продукции отрасли – от ее разработки до утилизации.

Директор МНИИРИП, к. т. н. Павел Павлович Куцько в своем докладе говорил о трудностях, с которыми сталкиваются предприятия при получении необходимых согласований и разрешений, связанных с разработкой и применением новых изделий ЭКБ, что негативно сказывается на сроках выполнения работ, внедрении переловых решений и ходе импортозамещения электронных



компонентов. ФГУП «МНИИРИП» предлагает решение этой проблемы – создание на базе института Многофункционального центра радиоэлектроники как единого отраслевого информационного окна.

«Мы предлагаем сервис одного окна, через которое можно будет отдать комплект документов в соответствии с разработанными регламентами и получить результат в виде готовой услуги. Благодаря этому мы стремимся соответствовать требованиям времени, повысить качество и доступность услуг, сократить временные и финансовые издержки, снизить бюрократизм и коррупционные риски. Удобство сервиса заключается в стандартизации всех процедур. Заказчик заранее получает информацию о сроках предоставления услуги, а также о пакете документов, необходимых для ее получения».

Сервис одного окна заработал в сентябре, теперь все услуги доступны предприятиям в удобном формате, а статус заявки можно отследить в режиме онлайн на сайте института (с процедурой принятия документов можно ознакомиться в разделе «Единое окно» (ЕО) на сайте ФГУП «МНИИРИП»). В формате одного окна МНИИРИП будет оказывать 24 услуги.

Тему реализации стратегии развития радиоэлектронной промышленности продолжил в своем выступлении **Илья Геннадьевич Иванцов, президент группы компаний «Элемент»**, созданной совместно АФК «Система» и ГК «Ростех», которая объединяет более 20 ведущих предприятий радиоэлектронной промышленности, осуществляющих разработку и производство широкого спектра изделий ЭКБ и модулей микроэлектроники. Цель деятельности компании – выпуск отечественной конкурентоспособной ЭКБ как общего применения, так и линейек специализированных изделий в интересах крупнейших предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности, таких как ГК «Росатом», ГК «Ростех», ГК «Роскосмос», ГК «Россети», федеральные телеком-операторы. Группа компаний «Элемент» – первый консорциум в радиоэлектронной промышленности. Процесс консолидации будет продолжаться. Докладчик отметил, что намеченные стратегией развития радиоэлектронной промышленности показатели среднегодового роста производства (более 10%) могут быть достигнуты при определенных условиях. Во-первых, необходимо внедрять новые организационные модели взаимодействия предприятий и, во-вторых, делать ставку на прорывные технологии.

«Разрабатывать каждый продукт с нуля смысла нет, здесь должна быть реализована единая техническая политика унификации российской ЭКБ. Необходимо также



создать площадку для организации взаимодействия с разработчиками, производителями и заказчиками ЭКБ, привлечения организаций фундаментальной и прикладной науки в области физики материалов, полупроводников и фотоники для развития ЭКБ», – сказал докладчик. В заключение И.Г. Иванцов предложил участникам заседания подумать над тем, чтобы создать новый российский продуктовый бренд «Гражданская радиоэлектроника для сложных условий эксплуатации» на базе имеющихся в радиоэлектронной промышленности соответствующих компетенций и разработок ЭКБ, предназначенный для выхода и на международный рынок.

Тема перспективные полупроводниковые структуры для современной микроэлектроники (нанотранзисторам, наносенсорам, элементам памяти) нашла отражение в докладе **Александра Леонидовича Асеева, академика РАН, д.ф.-м.н., директора в 1998–2013 годах, ныне главного научного сотрудника Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН**.



Институт занимает ведущие позиции в области физики полупроводников, физики и технологии низкоразмерных систем опто-, нано- и акустоэлектроники, сенсорики, однофотоники, одноэлектроники, квантовой электроники, спинтроники.

В Институте создаются структуры кремний на изоляторе – тончайшие (примерно 20 нм и менее) пленки кремния, которые используются в электронике. Наряду с этим разрабатываются структуры кремний на сапфире. Эти полупроводниковые кристаллические материалы перспективны для производства приборов, которые будут работать на больших частотах. Помимо обычной цифровой электроники, подобные структуры находят применение в медицине. «Мы используем их в основном для создания детекторов, которые пользуются большим спросом у биологов. С помощью наших структур удается измерять содержание белков, вирусов в плазме крови с чувствительностью менее чем фемтомоль на литр. Тем самым можно диагностировать различные заболевания, которые на таких уровнях концентрации практически не проявляются».

В Институте физики полупроводников создано также более десяти новых материалов, разработано более десяти технологий, в частности технология эпитаксиального роста гетероструктур на основе материалов кадмий-ртуть теллур (HgCdTe). Эта технология позволила создать гетероструктуры с квантовыми ямами (КЯ) HgTe/CdHgTe.

Значительную часть своего выступления докладчик посвятил принципиально новому поколению флеш-памяти. Так называемая резистивная флеш-память будет работать

в тысячу раз быстрее и в миллион раз надежнее, что увеличивает долговечность флеш-накопителей и снижает частоту зарядки мобильных устройств.

«Обычная флеш-память выдерживает порядка 10 тыс. циклов „запись-стирание“, а разрабатываемая нами резистивная память позволит выполнять в миллион раз больше циклов: микросхемы будут более надежными», – отметил докладчик.

«В сегменте выращивания гетероэпитаксиальных полупроводниковых структур мы входим в число лидеров в России и в мире. У нас поставлена технология создания наногетероструктур на основе соединений A_2B_6 , A_3B_5 и германий-кремний. Именно наш Институт задает уровень мировых научных исследований в области выращивания гетероэпитаксиальных структур соединений A_2B_6 ».

В заключение А. Л. Асеев подчеркнул, что результаты исследований прикладного характера, получаемые в Институте физики полупроводников, пользуются спросом на многих крупных российских предприятиях.



В докладе «Микро- и наноэлектроника на новых физических принципах» **Сергея Аполлоновича Никитова, члена-корреспондента РАН, д. ф.-м. н., директора ИРЭ РАН**, шла речь о новом направлении развития микроэлектроники – спинтроники. Лаборатория терагерцовой спинтроники была открыта в институте в июле 2018 года в рамках конкурса на со-

здание академических научных и прикладных лабораторий на базе Московского физико-технического института.

Цель исследовательского проекта, выполняемого специалистами лаборатории терагерцовой спинтроники, – исследование теоретическими и экспериментальными методами механизмов протекания электрического и спинового тока, влияния механических напряжений и электрических потенциалов на физические свойства проводящих и диэлектрических ферро- и антиферромагнитных гетероструктур в СВЧ- и терагерцовом диапазонах частот; исследование неравновесных процессов в таких структурах, а также разработка концепции создания устройств обработки информации и логических устройств на основе ферро- и антиферромагнитных наноэлементов и сетей.

Сергей Евгеньевич Власов, д.т.н., директор ФГУ ФНЦ НИИСИ в своем докладе «Импортозамещение САПР изделий микроэлектроники – ключевой драйвер развития отрасли» большое внимание уделил необходимости расширения производства отечественной микроэлектронной продукции и созданию условий ее доминирования на внутреннем рынке. Одновременно отмечается важность решения



проблемы импортозамещения зарубежной элементной базы на отечественную, которая должна быть полностью разработана и изготовлена в нашей стране.

С. Е. Власов отметил, что разработки интегральных схем, которые базируются на современных системах автоматизированного проектирования, полностью зависят от западных, а конкретнее, от американских поставок, поскольку уже долгое время рынок микроэлектронных САПР полностью монополизирован тремя американскими компаниями: Mentor Graphics, Cadence и Synopsys.

«Следует отметить, что чрезвычайно дорогостоящее микроэлектронное производство совершенно беспомощно без САПР, а в стоимости самой интегральной схемы доминирует стоимость разработки, а не производства. Именно по причине крайней дороговизны американских САПР роскошь покупки временных лицензий на их использование могут себе позволить только крупные дизайн-центры и они совершенно недоступны для малых предприятий. По оценкам экспертов, потребность импортозамещения интегральных схем значительно превышает наши возможности по проектированию и производству, поэтому импортозамещение САПР изделий микроэлектроники и является основой развития отрасли», – сказал С. Е. Власов в заключении своего выступления.

«Следует отметить, что чрезвычайно дорогостоящее микроэлектронное производство совершенно беспомощно без САПР, а в стоимости самой интегральной схемы доминирует стоимость разработки, а не производства. Именно по причине крайней дороговизны американских САПР роскошь покупки временных лицензий на их использование могут себе позволить только крупные дизайн-центры и они совершенно недоступны для малых предприятий. По оценкам экспертов, потребность импортозамещения интегральных схем значительно превышает наши возможности по проектированию и производству, поэтому импортозамещение САПР изделий микроэлектроники и является основой развития отрасли», – сказал С. Е. Власов в заключении своего выступления.



Николай Алексеевич Шелупин, д.т.н., профессор, первый заместитель генерального директора АО «НИИМЭ» рассказал об особенностях технологии, компонентах и библиотеках уровня 28 нм. Разработка осуществляется в АО «НИИМЭ» по заказу Минпромторга России. К особенностям технологии относятся высоколегированная кремниевая

подложка, низколегированный эпитаксиальный слой, мелкая щелевая изоляция. Среди принципиальных особенностей, отличающихся от достигнутого уровня 90 нм, докладчик отметил применение подзатворного диэлектрика с высокой диэлектрической постоянной и металлического затвора, а также использование локальной эпитаксии кремния, легированного германием, в областях стоков истоков р-канальных транзисторов, что обеспечивает повышение их тока насыщения. Также в докладе рассмотрены новые правила и ограничения при проектировании топологии базовых библиотечных элементов и топологии СБИС в целом.

Отечественные навигационно-связные модули: разработка нового поколения на основе отечественной ЭКБ – тема доклада **Игоря Леонидовича Корнеева, к.т.н., директора по научной работе АО «НИИМА «Прогресс»**. Предприятие с 1996 года успешно работает на рынке спутниковой навигации в Российской Федерации и странах СНГ как разработчик и поставщик специализированных СБИС, СнК и СвК для навигационных ГЛОНАСС/GPS/Galileo приемников. С 2000 года АО «НИИМА «Прогресс» известен в качестве производителя и поставщика OEM-, SMD-модулей приемников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) на базе микросхем собственной разработки. В рамках ОКР СПИН-П в НИИМА «Прогресс» была разработана серия из пяти навигационно-связных модулей нового поколения, из которых можно выделить:



- универсальный навигационно-связной модуль общего применения, с возможностью интеграции с микроэлектромеханическими системами (МЭМС). Области применения: мониторинг транспортных средств, автоматический экстренный вызов спасательных служб при аварии, автоматические платежи при пользовании платными автодорогами. Основное использование модуля – в терминалах системы «ЭРА-ГЛОНАСС». В случае аварии терминал автоматически оценивает направление и силу удара, а затем передает информацию диспетчеру экстренной службы, который по громкой связи может переговорить с водителем;
- навигационно-связной модуль точной навигации, обеспечивающий сантиметровую точность с использованием сигналов ГНСС в режиме RTK и сигналов локальных систем навигации (ЛСН). Модуль не имеет мировых аналогов и обеспечивает высокую точность и надежность навигации в сложных условиях (горы, лес, плотная городская застройка), а также при техническом сбое или намеренном отключении навигационного сигнала на тех или иных спутниках ГНСС.

Был внедрен в серийное производство отечественный ГЛОНАСС/GPS/Galileo навигационный приемный модуль ПРО-04, выполненный по технологии КМОП 55 нм. По своим характеристикам и цене модуль может конкурировать с лучшими образцами подобных устройств мировых лидеров.

В настоящее время на предприятии ведется разработка современной высокоточной локальной системы навигации, не зависящей от сигналов навигационных спутников. В таких системах навигационные сигналы передаются с наземных вышек, покрывающих сеть заданный район. Так как мощность сигнала на входе приемника ЛСН на четыре

порядка выше, чем у сигналов ГНСС, а сам сигнал очень сложный, он постоянно меняется во времени, система может эффективно противостоять воздействию маскирующих и имитационных помех.

О возможности и опыте создания микросхем и систем в корпусе по перспективной технологии КНИ 22 нм для нового поколения электронной техники говорил в своем докладе **Алексей Юрьевич Новоселов, директор по маркетингу и развитию АО «ПКК «Миландр»**.



В настоящее время компания выпускает и ведет разработку широкого ряда микросхем (высокопроизводительных микроконтроллеров, схем памяти, высокоточных АЦП, источников вторичного питания, аналоговых мультиплексоров и др.) с повышенной стойкостью к специальным факторам космического пространства. Имеющийся задел в виде моделей стойких транзисторов, характеризованных библиотек, ПО, обеспечивающего проверку топологии с учетом требований и правил разработки микросхем с повышенной стойкостью к воздействию радиации, и опыт дают возможность компании расширять номенклатуру радиационно-стойких микросхем, а также разрабатывать микросхемы с более высокими уровнями стойкости к воздействию различных радиационных факторов.

Схемы изготавливаются по технологии КНИ с топологическими нормами 180 нм, но, по мнению экспертов, перспектив у этой технологии для создания микросхем, стойких к специальным факторам, немного. Поэтому специалисты проанализировали возможности применения технологии КНИ 22 нм для изготовления радиационно-стойких микросхем. В результате была разработана технология, изготовлен тестовый кристалл, состоящий из четырех блоков. На одном из них расположены элементы памяти, триггеры, различная логика, б-транзисторная ячейка и др., на другом – программируемая память. Два блока предусмотрены для тестирования (измерение токов утечки и зависимости тока утечки от величины накопленного заряда).

В заключение А. Ю. Новоселов отметил перспективность применения разработанной технологии для создания современных высокоскоростных процессоров, ЦАП/АЦП, СОЗУ и т. д.

В рамках научной конференции Форума проводилась работа в 10 секциях. Помимо научных секций, проведено четыре панельных дискуссии, а также была организована демонстрационная зона, на которой участники имели возможность детально узнать о современной продукции микроэлектронной отрасли.