

Принимая вызовы времени

Пленарная часть конференции «ЭКБ и микроэлектронные модули»

Ю. Ковалевский

С 1 по 5 октября 2018 года в Алуште состоялся IV Международный форум «Микроэлектроника 2018», в рамках которого прошла научно-техническая конференция «ЭКБ и микроэлектронные модули». На пленарном заседании конференции, состоявшемся 2 октября, были представлены доклады, которые показали наиболее значимые тенденции развития микроэлектроники, ее роль в современном мире и те задачи, которые стоят перед отечественной электронной и радиоэлектронной промышленностью для обеспечения технологической и экономической независимости нашей страны. Этой части мероприятия посвящена данная статья.



В начале пленарного заседания конференции с приветственной речью выступил **директор Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России С. В. Хохлов**. Он поприветствовал участников форума от лица министерства и поблагодарил организаторов за ту атмосферу, которую удалось создать на

этом мероприятии и которая позволяет обсудить актуальные научные вопросы, пообщаться со старыми друзьями и завести новых. С. В. Хохлов отметил, что приятно видеть в зале руководителей предприятий и разработчиков, заслуженных академиков и совсем молодых специалистов, для которых, возможно, эта конференция – первая, но совершенно очевидно, что не последняя.

В заключение своего выступления С. В. Хохлов пожелал всем участникам форума плодотворной работы.



Почетный президент конференции «ЭКБ и микроэлектронные модули», руководитель Межведомственного совета главных конструкторов по электронной компонентной базе РФ, генеральный директор АО «НИИМЭ», академик РАН Г. Я. Красников начал свое выступление

с приветствия, которое передал форуму академик РАН Ж. И. Алфёров, после чего кратко рассказал об истории возрождения конференции.

Затем по предложению Г. Я. Красникова участники мероприятия почтили минутой молчания память ушедших из жизни в 2018 году идейного вдохновителя Международного форума «Микроэлектроника», главного научного руководителя АО «НИИМА «Прогресс», заслуженного деятеля науки и техники РФ Владимира Георгиевича Немудрова и члена-корреспондента РАН по Отделению нанотехнологий и информационных технологий, главного научного сотрудника ИПТМ РАН, заведующего кафедрой физики и технологии наноэлектроники факультета физической и квантовой электроники МФТИ Виталия Васильевича Аристова.

Далее Г. Я. Красников представил первый доклад пленарной части конференции, озаглавленный «Квантовые вычисления – надежда и реальность».

В начале доклада были приведены некоторые сведения о текущем состоянии и тенденциях развития традиционной микроэлектроники. В частности, было отмечено, что микроэлектроника развивается по двум основным направлениям, связанным, соответственно, с совершенствованием структур и увеличением подвижности носителей заряда. В то время как кремний остается основным материалом микроэлектронных изделий, с точки зрения подвижности зарядов он несколько уступает ряду других материалов. Одним из достижений последнего времени стало создание компанией IBM в конце 2017 года InGaAs-транзисторов FinFET на изоляторе на кремниевой подложке. Также было отмечено, что в 2017 году альянсом IBM, Samsung и GlobalFoundries были созданы транзисторы

с горизонтальными каналами из нанопроволоки, которые проявили хорошие характеристики.

Затем докладчик перешел непосредственно к теме квантовых вычислений, отметив глубокую ошибочность распространенного мнения, заключающегося в том, что это направление является альтернативой компьютерам на основе традиционных интегральных схем (ИС) и что на определенном этапе уменьшения технологических норм ИС «становятся квантовыми».

В традиционной микроэлектронике при проектировании структур и расчете их параметров уже давно учитываются квантовые эффекты, такие как, например, туннелирование. В то же время квантовые компьютеры основаны на совершенно иных принципах, нежели классические ЭВМ, в их основе лежат такие понятия, как квантовая суперпозиция и квантовая запутанность. При этом они теоретически способны решать определенные задачи с колоссальным выигрышем с точки зрения времени вычислений.

Г. Я. Красников привел основные сведения из истории развития идеи квантовых вычислений, рассказал о современном состоянии этого направления и остановился на ряде теоретических основ, принципов организации, а также попыток практической реализации квантовых компьютеров. Он отметил, что к настоящему моменту разработано несколько квантовых алгоритмов, однако физическая реализация квантовых вычислений сталкивается с рядом проблем, среди которых были выделены недостаточное для выполнения операций время пребывания кубитов в когерентном состоянии и проблема квантовых коррекций.

В настоящее время существует представление, что накапливающиеся ошибки, связанные со случайным разбросом параметров кубитов, относительно невысокой точностью измерений, а также со взаимодействием кубитов с окружением, включая квантовые, тепловые флуктуации и т. п., могут быть в достаточной степени скорректированы путем использования нескольких физических кубитов, представляющих один логический кубит. Однако для того, чтобы показать превосходство квантовых вычислений над классическими в решении определенных задач, требуется не менее 100–150 логических кубитов. При этом необходимо порядка 1500 физических кубитов, которые должны находиться в когерентном состоянии, что представляет собой большую проблему.

Докладчик отметил, что в ближайшее время ожидать значительного прогресса в реализации квантовых вычислений не приходится. Необходимы новые научные достижения, и одной из сфер, в которой такие достижения возможны, являются сверхпроводники.

Г. Я. Красников обратил внимание, что не должны вводить в заблуждение сообщения о реализации

2 000 кубитов в разработке компании D-Wave. Данный компьютер построен по иным принципам, а именно на основе квантового отжига, и способен эффективно решать лишь определенный узкий круг задач.

В заключение докладчик упомянул о работах в области молекулярной электроники, где применяются квантовые эффекты, но логика вычислений остается классической. Хотя это направление не относится к квантовым вычислениям, было отмечено, что данное направление имеет интересные перспективы.

Генеральный директор АО «НИИМА «Прогресс»

В. В. Шпак представил вниманию участников мероприятия доклад под названием «Микроэлектронная промышленность – основа суверенитета России».

Поясняя тему доклада, В. В. Шпак представил матрицу, включающую военный, технологический, экономический и культурный суверенитеты страны, подчеркнув, что в каждом из этих четырех направлений микроэлектроника играет значительную роль.

По словам докладчика, в настоящее время ландшафт взаимоотношений государств и обществ определяется гиперконкуренция, одним из распространенных средств которой являются кибератаки, в том числе на объекты критической информационной инфраструктуры, на которую по статистике приходится более 30% от их общего числа. На рубеже 20–21 веков стало очевидно, что войны приобрели совершенно иной характер. В войнах нового – сетцентрического – типа физическое воздействие уступает по степени значимости воздействиям прежде всего на когнитивную, а также на информационную и социальную сферы. Основой для этих воздействий является информационное и технологическое превосходство. Фактически войны могут выигрываться без непосредственных военных действий. Всё это еще раз подтверждает важность микроэлектронной отрасли, лежащей в основе информационных инфраструктур, как фактора независимости государства.

С точки зрения экономики и общества в целом, микроэлектроника играет всепроникающую роль, и те направления, в которых она развивается, как то: беспроводная связь, здравоохранение, Интернет вещей, потребительская электроника, «Индустрия 4.0» и промышленный Интернет, беспилотный транспорт, облачные вычисления, искусственный интеллект и т. п., по общему мнению, совершенно изменят облик цивилизации



и, возможно, приведут к смене ряда экономических моделей.

Докладчиком были названы некоторые тенденции мирового микроэлектронного рынка, «правила» битвы гигантов микроэлектронной промышленности: создание альянсов и консорциумов крупных игроков на национальном и международном уровнях; диверсификация и воронкообразное втягивание узкопрофильных компаний различной специализации в бизнес многопрофильных микроэлектронных гигантов; постоянный поиск новых точек проникновения в жизнь общества через создание, а не ожидание появления новых рынков; устремленность к глобальному доминированию; консолидация капиталов в интересах создания холдингов, эквивалентных по мощности и стратегическому потенциалу масштабности своих конкурентов. При этом развитие микроэлектронной промышленности неизменно входит в топ-10 приоритетов национального научно-технологического и экономического развития ведущих стран мира.

Таким образом, для того чтобы России обеспечить свою конкурентоспособность в этих условиях, необходимы альянсы и союзы, а также консолидация ресурсов внутри страны.

В. В. Шпак также отметил, что в нынешней геополитической обстановке наиболее перспективным периметром с точки зрения возможностей международного сотрудничества и технологического партнерства для России является Юго-Восточная Азия.

Критически важная роль микроэлектроники проявляет себя и в том, что, по существующим подсчетам, одно созданное рабочее место в микроэлектронной промышленности порождает минимум 10 рабочих мест в смежных отраслях.

Также докладчик обратил внимание на необходимость завоевания и удержания позиций на мировом рынке для поддержания уровня технологий и для обеспечения объема рынка сбыта. Таким образом, важным вопросом является экспортная ориентация микроэлектронной промышленности, направленная на растущие рынки, прежде всего азиатского региона.

Наконец, быстрое развитие цифровой экономики и смена укладов как в области технологий, так и в политической и социальной сфере представляют собой, с одной стороны, следствие проникновения цифровых технологий в жизнь общества, а с другой – условия, требующие активного участия в этих процессах и, соответственно, развития отечественной микроэлектроники, что является основой повышения конкурентного потенциала в цивилизационном аспекте.

Среди основных рисков, существующих в нынешних условиях, В. В. Шпак привел такие, как запрет на применение технологий, срыв соглашений и договоров,

отставание в технологиях и продуктах, нехватка кадров и компетенций и др. Риски продолжают расти, что указывает на необходимость незамедлительных мер и создания рецептов противодействия этим негативным факторам.

Докладчик сообщил, что в марте 2018 года Президент РФ В. В. Путин обозначил стратегический приоритет проекта по микроэлектронике, и этому вопросу было уделено большое внимание на состоявшемся накануне проведения пленарного заседания конференции закрытом совещании у заместителя Председателя Правительства РФ Ю. И. Борисова. В. В. Шпак отметил, что это свидетельствует о большом внимании к проблемам отрасли, их понимании и готовности оказания поддержки со стороны руководства страны. На отрасль возложены большие надежды, и она должна их оправдать.

Докладчик призвал присутствующих предоставлять свои предложения в отношении технологий, которыми должны обладать новые отечественные микроэлектронные производства, а также по вопросам снятия существующих барьеров для решения поставленных задач.

В. В. Шпак особо отметил задачу подготовки кадров, которая должна решаться комплексно, с планированием на уровне отрасли на 20–25 лет вперед. По мнению докладчика, необходимо отказаться от разделения подготовки разработчиков ЭКБ и аппаратуры с тем, чтобы устранить недопонимание между специалистами на этих двух этапах создания новых изделий.

В. В. Шпак выразил уверенность в возможностях российской микроэлектронной промышленности в преодолении существующего отставания, в том числе основываясь на опыте реализации в стране масштабных проектов, таких как космическая и ядерная программы. В отношении управленческих задач для этого необходимо работать на опережение, ставя перед собой цели, направленные на мировое лидерство в будущем.

Также в докладе был приведен опыт других стран по развитию экосистем микроэлектронной промышленности. Было отмечено, что в Индии и Бразилии этот опыт был неудачным, в то время как в Китае и Южной Корее удалось достичь очень больших успехов во многом благодаря стратегической роли государства в этих программах. Успешным является опыт Тайваня и Малайзии. Позиции тайваньской компании TSMC говорят сами за себя. При этом В. В. Шпак обратил внимание на некоторые элементы стратегии TSMC, включая огромные инвестиции в обучение сотрудников: компания в 2017 году провела 973 тренинга для почти 540 тыс. человек. Расходы на эти тренинги составили более 63 млн долл.

Докладчик отметил, что нельзя сбрасывать со счетов и опыт СССР, который был весьма успешным до того момента, когда произошел отказ от комплексного подхода в развитии микроэлектроники и распространилась практика воспроизводства зарубежных образцов, что произошло в конце 1970-х годов.

Важным фактором является разработка и внедрение собственного технологического процесса, без которого невозможно обеспечить свою независимость. Для скорейшей реализации этой задачи необходимо создание альянса в некоторой форме для совместной работы с зарубежными партнерами. Эта технология должна стать основой, под которую необходимо в дальнейшем планировать как разработку аппаратуры и ЭКБ, так и создание собственного оборудования и технологических материалов.

Кроме того, для развития отечественной микроэлектроники важно создание полноценной экосистемы, охватывающей все заинтересованные стороны – разработчиков, производителей, потребителей, партнеров. Необходимо наладить взаимодействие между всеми ее частями, для чего должны создаваться соответствующие ассоциации, консорциумы и т. п.

На создании одного из таких консорциумов В. В. Шпак остановился отдельно. Это Консорциум дизайн-центров российской микроэлектронной промышленности, соглашение о создании которого было подписано позже в рамках форума. На момент доклада количество подписантов превышало 30. Докладчик отметил, что это открытая площадка, к которой можно присоединиться по простому письменному обращению. Среди целей и задач консорциума были названы:

- стратегический анализ и прогноз перспективных для российской микроэлектронной промышленности отечественных и зарубежных рынков;
- совместная разработка облика (концептов) продукции для данных рынков в интересах загрузки создаваемых в России новых производственных мощностей;
- работа с заинтересованными сторонами консорциума в интересах обеспечения режима наибольшего благоприятствования развитию экосистемы дизайн-центров, включая САПР, библиотеки IP-блоков;
- консолидация усилий для экспансии на внутренние и внешние рынки.

В заключение доклада В. В. Шпак привел некоторые векторы развития, отметив, что приведенный список неполный, и выразив надежду, что в процессе работы форума картина будет дополнена совместными усилиями. Докладчик призвал озвучивать идеи в отношении целевых индикаторов развития отрасли.

Директор ФГУП «МНИИРИП»

П. П. Куцько представил доклад «Торгово-информационная площадка ЭКБ-Маркет как элемент системы управления знаниями в радиоэлектронике».

Докладчик отметил, что подобная площадка не может выполнять свои функции, если не обеспечена достоверность и актуальность данных.

Площадка ЭКБМаркет основана прежде всего на компетенциях ФГУП «МНИИРИП» – института, который, являясь головной научно-исследовательской испытательной организацией Минпромторга России, выполняющей функции исследований в области ЭКБ, а также научного обеспечения и межведомственной методической координации работ по созданию и проведению исследований (испытаний) изделий ЭКБ, обладает наиболее полной и достоверной информацией по разрабатываемой и применяемой ЭКБ.

На первом этапе площадка ориентирована на информацию об отечественной компонентной базе. Проект охватывает три основных вида участников – потребителей, изготовителей и поставщиков. П. П. Куцько указал на важность участников всех трех видов, отметив, что поставщики ЭКБ играют существенную роль, обеспечивая своевременность поставок, необходимое количество изделий в партии и т. п.

Первоочередной задачей площадки является донесение до потребителей информации о параметрах изделий. Также она обладает возможностями по предоставлению математических моделей ЭКБ и других данных, спектр которых будет в дальнейшем расширяться.

Говоря об эффектах, которые могут быть получены с помощью площадки, П. П. Куцько отметил ряд причин недостаточного применения отечественной ЭКБ в российской радиоэлектронной промышленности. Среди них – сложности, возникающие у разработчиков аппаратуры в получении информации об изделиях ЭКБ отечественного производства, а также длительность поставок и отсутствие данных о наличии на складах. Эти проблемы решены у большинства зарубежных поставщиков, что приводит к соблазну закладывать иностранные изделия в новые разработки даже при наличии отечественных аналогов. Площадка ЭКБМаркет призвана изменить эту ситуацию таким образом, чтобы обеспечить удобство применения отечественной ЭКБ.

Далее докладчик рассказал об этапах реализации проекта. На момент доклада была запущена в работу альфа-версия площадки. Функционал первого этапа включает в себя:



- каталог продукции;
- базу поставщиков ЭКБ;
- возможности сравнения компонентов;
- учет наличия на складах;
- определение статуса заказа;
- анализ загрузки производственных мощностей;
- блокировку контрафакта;
- информирование о новых разработках ЭКБ;
- библиотеку моделей отечественной ЭКБ;
- возможности оценки потребностей;
- онлайн-коммуникации потребителей и поставщиков;
- банк знаний по нормативно-правовой базе;
- аналитику и статистику.

На втором этапе предполагается реформирование площадки из информационной в торгово-информационную. Кроме того, на ней будет реализован закрытый контур с различными уровнями доступа. Функционал площадки на втором этапе будет расширен такими возможностями, как анализ спроса и предложений, онлайн-сделки, обеспечение гарантированных расчетов, рейтинги участников, инструменты прогнозирования и проч.

Третий этап планируется посвятить расширению сферы применения площадки. Помимо ЭКБ, на ней может быть представлена информация об отечественных изделиях в таких областях, как телекоммуникационное оборудование, вычислительная техника, системы интеллектуального управления и др. Функционал площадки на третьем этапе также планируется расширить, в том числе в отношении интеграции с различными информационными

системами, возможностей в области подбора кадров, шеринга производственных мощностей и проч.

П. П. Куцько отметил, что на ранних стадиях акцент делается на ЭКБ специального применения, но площадка может развиваться и в направлении гражданской компонентной базы.

Докладчик уделил особое внимание вопросу наполнения площадки информацией. Хотя ФГУП «МНИИРИП» способен обеспечить это самостоятельно, участие в данном процессе изготовителей ЭКБ позволит значительно ускорить выполнение этой задачи и обеспечить полноценную работу площадки в существенно более короткие сроки.

Кроме того, участие изготовителей и поставщиков в работе площадки, помимо предоставления потребителям информации о наличии изделий на складах, позволит стимулировать развитие интегрированных структур, производств в тех областях, в которых существующих мощностей недостаточно, а также выявлять те направления,



в которых существует неудовлетворенная потребность, что предоставит ориентир для частного бизнеса в отношении создания дублирующих производств. Вся эта информация в своей совокупности послужит развитию и постоянному совершенствованию отечественной электронной промышленности.

Также докладчик призвал организации регистрироваться на площадке. На момент доклада количество зарегистрированных предприятий составляло 85. Планируется, что до конца года эта цифра должна достичь 300.

Докладчик особо подчеркнул, что на площадке организована обратная связь от пользователей, и все поступающие предложения рассматриваются в обязательном порядке. Кроме того, планируется запуск регулярной рассылки по электронной почте с целью информирования



пользователей о новых позициях в каталоге, новых участниках платформы, новостях участников, событиях и мероприятиях и др.

П. П. Куцько отметил, что в настоящее время ведется активная работа по информированию отрасли о развитии площадки ЭКБМаркет, в том числе путем публикаций в журнале «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес», на сайте основного партнера площадки – ГК Остек, и в других источниках.

Тесная работа ведется с ЦНИИ «Электроника», ПАО «Микрон»,

АО «ПКК Миландр», такими крупными организациями, как АО «РКС», АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей» и др. Созданы экспертные группы поставщиков и потребителей ЭКБ.

Докладчик отметил, что на данный момент площадка полностью готова для наполнения, и подчеркнул готовность работать со всеми потребителями, изготовителями и поставщиками с тем, чтобы как можно быстрее интегрировать максимальное количество информации об ЭКБ в данную платформу.

В заключение доклада П. П. Куцько еще раз указал на то, что ЭКБМаркет может стать основой системы управления знаниями в электронной и радиоэлектронной промышленности, и призвал регистрироваться на сайте площадки.



С тенденциями развития ИС для нового поколения телекоммуникаций 5G, а также проблемами их тестирования познакомил аудиторию **Г. Р. Мардоян, технический директор YEA Engineering (Республика Армения).**

Докладчик рассказал участникам мероприятия о появлении первой фазы стандарта по коммуникациям пятого поколения,

включающей две части, которые охватывают широкополосную мобильную связь и высоконадежную межмашинную коммуникацию соответственно. Выход третьей части, относящейся к сетям для Интернета вещей, предполагается на второй фазе.

В рамках доклада рассматривались проблемы тестирования ИС для широкополосной мобильной связи 5G. Отличительной особенностью данного типа коммуникаций являются высокие частоты, которые можно разделить на два диапазона: менее 6 и более 24 ГГц. Основную сложность при тестировании составляет второй диапазон.

Предполагается, что данные микросхемы будут иметь интегрированные в корпус АФАР. В отношении ИС для пользовательских устройств вероятность этого близка к 100%, поскольку к таким изделиям будут предъявляться жесткие требования по миниатюризации. Однако этот подход, вероятно, будет применяться и в ИС для базовых станций. Примеры реализации подобных ИС уже существуют, а начало их применения ожидается уже в 2020 году.

Интеграция АФАР в корпус ИС делает невозможным применение традиционных подходов к тестированию ИС, при которых измерения параметров модема и антенны выполняются по отдельности и модем тестируется с помощью контактной оснастки. ИС для 5G потребуются

тестировать беспроводным методом, причем как при разработке, так и в условиях производства. Кроме того, возникает задача определения ширины диаграммы направленности и калибровки ИС, что требует измерений в нескольких точках пространства.

Существует множество методов измерения различных параметров сигнала 5G, при этом стандарт не указывает на применение одного конкретного метода, но устанавливает список необходимых измерений и требуемую точность.

Согласно стандарту, измерения параметров радиосигнала могут проводиться в дальней зоне, косвенной дальней зоне и методом преобразования параметров ближней зоны в параметры дальней (NF–FF). Измерения в дальней зоне не представляют технических сложностей, однако они требуют применения безэховых камер большого размера – до 60 м, что делает этот метод практически неприменимым в условиях производства при ограничениях в отношении бюджета, размера установок и времени тестирования.

При измерениях в косвенной дальней зоне используется металлический отражатель, преобразующий энергию в зоне Френеля в плоскую волну, что позволяет выполнять измерения подобно измерениям в дальней зоне. При этом требуемый размер безэховой камеры становится меньше, однако усложняется калибровка и обеспечение точности.

У метода преобразования NF–FF имеется тот недостаток, что еще нет понимания, как проводить этим методом параметрические измерения, в частности как выполнять преобразование модуля вектора ошибки для коммуникаций 5G.

Для производственной калибровки ИС с АФАР для базовых станций, при которой задаются коэффициенты для правильного формирования диаграмм направленности, требуются высокоточные позиционирующие устройства для АФАР и дорогие безэховые камеры, поскольку лучи диаграмм направленности очень узкие, а измерения должны выполняться в возможно большем количестве точек.

Разработка тестовых систем усложняется из-за применения очень широкополосных сигналов. Например, на частотах от 24 до 40 ГГц ширина полосы сигнала может составлять до 400 МГц. Широкополосная калибровка безэховой камеры для всех точек измерения и эквализация параметров требуют больших временных затрат и повышают стоимость установки тестирования. Кроме того, к усложнению системы тестирования приводит необходимость измерения двойной поляризации, для чего применяются антенны Вивальди.

В качестве заключения докладчик отметил, что в настоящее время ведутся разработки как устройств для 5G, так и тестового оборудования, включая эмуляторы

абонентских устройств, и при этом параллельно должны разрабатываться методики тестирования ИС, которые позволили бы сократить время измерений и стоимость обслуживания, поскольку эти факторы в конечном счете сказываются на цене готовых ИС.

В. М. Миннебаев, начальник научного отделения АО «НПП «Пульсар», посвятил свой доклад преимуществам нитрид-галлиевой СВЧ-электроники для зондирования Земли из космоса.



В начале своего выступления докладчик напомнил аудитории, что дистанционное зондирование Земли применяется для построения цифровых рельефов местности, которые необходимы в картографии, гляциологии и других областях, а также позволяет изучать землетрясения, вулканическую активность, выполнять селекцию движущихся объектов при контроле транспортных потоков, мониторинг таких объектов, как нефтепроводы, и проч.

Далее В. М. Миннебаев перешел, собственно, к преимуществам нитрид-галлиевой СВЧ-электроники, первым из которых было названо высокое напряжение пробоя, составляющее для СВЧ-транзисторов и ИС 150–200 В и более. Благодаря этому возможно повышение рабочего напряжения, снижение рабочего тока и уменьшение веса изделий.

Вторым важным преимуществом был назван широкий диапазон рабочих температур. Верхнее значение диапазона составляет более 250 °С.

Также приборы на основе GaN обладают высокой радиационной стойкостью, что стало основной причиной выбора этой технологии в качестве базовой в АО «НПП «Пульсар» для аппаратов, работающих в космическом пространстве.

В сравнении с применявшейся ранее технологией GaAs, нитрид-галлиевые приборы обладают примерно в 2,5–3 раза более высокими входными и выходными сопротивлениями, что позволяет расширить диапазон рабочих частот при той же ширине затвора и тех же цепях согласования. Кроме того, технология GaN обеспечивает лучшую линейность параметров, позволяя упростить применение сложных видов модуляции, а также обладает более низкими фазовыми шумами, что дает преимущества при изготовлении устройств формирования сигналов, и устойчивостью к воздействию входной мощности, что важно при создании локаторов с АФАР, поскольку позволяет отказаться от устройств защиты в приемопередающих устройствах и тем самым

компенсировать несколько большие шумы, чем у арсенид-галлиевых приборов.

Далее докладчик привел ряд результатов испытаний, проведенных в АО «НПП «Пульсар», которые подтвердили преимущества нитрид-галлиевой технологии. В качестве вывода было отмечено, что применение приборов на основе GaN в СВЧ-аппаратуре позволяет в три раза увеличить импульсную мощность АФАР и обеспечить работу при допустимых значениях температуры на 50 °С выше в сравнении с арсенид-галлиевой технологией в течение длительного срока активного существования в условиях космического пространства.

Кроме того, В. М. Миннебаев познакомил присутствующих с разработанным и внедренным на предприятии комплексом методов контроля технологических операций и привел сравнение выпускаемой продукции с зарубежными аналогами. Было отмечено, что на основе нового технологического процесса на данный момент АО «НПП «Пульсар» выпускают приборы для X-диапазона с минимальным топологическим размером 0,05 мкм с удельной мощностью, приближающейся к 4 Вт/мм, в то время как этот параметр у зарубежных аналогов составляет 5 Вт/мм. При этом динамика развития показывает приближение изделий предприятия к мировому уровню.

В качестве важнейшего требования при создании АФАР для зондирования Земли из космоса докладчик отметил стабильность СВЧ-параметров каналов приемопередающих модулей. На предприятии это требование выполняется благодаря наличию распределенного дизайн-центра, в рамках которого производится моделирование устройств начиная от гетероструктур и заканчивая математическим моделированием и испытаниями изделия в целом. Этот подход позволяет достаточно оперативно создавать ЭКБ собственного производства при изменении требований.

В заключение доклада В. М. Миннебаев привел примеры типов конструкций нитрид-галлиевых СВЧ-транзисторов и их влияния на значения пробивных напряжений и уровень спектральной плотности фазового шума.

И. И. Фефилов, руководитель рабочей группы ЭКБ программно-аппаратных платформ средств и систем связи объединенного Совета главных конструкторов для АСУ и связи ВС РФ и ИСС, руководитель программ АО «Концерн «Созвездие», посвятил свой доклад вопросам



программы развития отечественной ЭКБ для систем связи и управления.

Отметив проблему нехватки современной отечественной ЭКБ для систем связи, докладчик познакомил аудиторию с реализованными мероприятиями, направленными на улучшение ситуации в этом вопросе. В частности, было отмечено, что в 2018 году был согласован и утвержден генеральными конструкторами Единый унифицированный перечень – Перечень критических компонентов. Также И. И. Фефилов сообщил, что в концерне фактически существует готовая инфраструктура для создания центра коллективного пользования и для поддержки Консорциума дизайн-центров российской микроэлектронной промышленности.

Далее докладчик остановился на особенностях 6-го поколения специальных средств связи, создаваемых в рамках концерна, основные отличительные характеристики которого включают: на функциональном уровне – программно-определяемые радиосредства (SDR); на конструктивном – унифицированные модульные решения и программные и аппаратные интерфейсы взаимодействия; на технологическом – сквозной маршрут (интегрированную среду) проектирования с общей базой данных, являющейся общей для множества участников.

И. И. Фефилов показал, что, исходя из требований к средствам связи 6-го поколения, для их создания существует потребность в ЭКБ на основе технологии с проектной нормой 28 нм.

Говоря об общих принципах формирования перечня ЭКБ на примере радиостанций 6-го поколения, докладчик особо указал на востребованность усиления влияния и ответственности главных конструкторов образцов ВВСТ при согласовании ТТ на различных уровнях. В докладе были приведены требования к высокотехнологичной ЭКБ для данной аппаратуры. Также была подчеркнута растущая роль программного обеспечения при разработке средств связи 6-го поколения.

Докладчик предложил алгоритм формирования перечня критической ЭКБ, включающий четыре шага:

- анализ технических требований (ТТЗ), определение основных параметров аппаратуры;
- анализ алгоритмов, обеспечивающих функциональные характеристики, определение примерной архитектуры и требований к вычислителям и программным компонентам;
- унификация узлов и блоков аппаратуры и определение требований к ЭКБ;
- анализ имеющегося технологического задела, возможности и целесообразности изготовления ЭКБ на отечественных предприятиях.

Также был предложен подход, направленный на разработку изделий с учетом развития (импортозамещения) ЭКБ, включающий следующие этапы.

- С учетом сроков исполнения государственного контракта разработка систем связи выполняется на импортной ЭКБ качества Industrial. Разработка ведется с учетом унификации программного обеспечения.
- Для осуществления проектирования ЭКБ (перечня критических компонентов направления) предлагается отдельный набор взаимно увязанных проектов (подпрограмма импортозамещения направления). Проекты по импортозамещению сложной ЭКБ согласуются с генеральным конструктором направления и осуществляются согласованно (параллельно) с проектами, направленными на разработку конечных узлов и/или электронных модулей РЭА (в рамках единой дорожной карты).
- Созданная ЭКБ будет использоваться при модернизации перспективных радиосредств на этапе серийного производства с проведением типовых испытаний серийных образцов в установленном порядке в соответствии с ГОСТ РВ 15.307-2002.

Далее докладчик привел элементы создания самостоятельной комплексной программы развития отечественной ЭКБ для систем связи и управления, представляющей собой согласованный набор проектов, а также факторы, формирующие необходимость запуска такой программы. В качестве целевого показателя для задачи снижения зависимости от импортной компонентной базы в результате выполнения программы было названо достижение уровня 70% отечественной ЭКБ в структуре цены радиостанций.

Среди главных аспектов реализации программы докладчик отметил следующее:

- реализация программы должна выполняться в соответствии с согласованным перечнем критических компонентов;
- координация программы должна осуществляться единым центром – объединенным Советом главных конструкторов;
- программа позволит обеспечить совместную реализацию проектов и создание единого маркетинга, а также даст возможность упорядочить взаимодействие между различными структурами;
- программа базируется на актуальных унифицированных модульных решениях;
- программа включает два «моста» развития ЭКБ: системы на кристалле и системы в корпусе, и поддерживает гибкую работу на любых рынках.

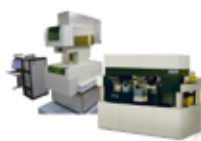
В рамках пленарной части конференции прозвучали и другие доклады. ●

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ



БЕЗМАСОЧНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Многоканальные лазерные генераторы изображений
- Проектная норма 0.35, 0.6 μm
- Опция прямого рисования
- $\varnothing 200, 150, 100 \text{ mm}$
- Высокая точность совмещения



КОНТАКТНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Ручная и автоматизированная загрузка
- Двусторонняя литография
- Высокая точность совмещения
- Низкий уровень генерации дефектов
- Высокая энергоэффективность



ГЕНЕРАТОРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ

- Диапазон UV, DUV
- Проектная норма 90, 130 nm
- 16/32-лучевая архитектура
- Фазосдвигающие шаблоны
- Быстрая переналадка пластин — шаблон



СТЕПЕРЫ

- Проектная норма 0.35, 0.8 μm
- Автоматический масштаб
- Двустороннее совмещение
- $\varnothing 100, 150, 200 \text{ mm}$
- Твердотельный источник света



КОНТРОЛЬ ФОТОШАБЛОНОВ

- Проектная норма 90, 130, 250 nm
- Твердотельный лазер
- Контроль методом Die-to-DB, Die-to-Die
- Высокая производительность



КОНТРОЛЬ ТОПОЛОГИИ

- Контроль привносимых дефектов пластин без топологии
- Автоматический микро и макро контроль дефектов пластин с топологией
- Высокая производительность



РЕМОНТ ФОТОШАБЛОНОВ

- Фемтосекундный / пикосекундный лазер
- 0.2 / 0.5 μm min элемент
- Размер шаблона 7"x7"
- Устранение прозрачных и непрозрачных дефектов



АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ

- Контроль микроразмеров
- Контроль неплоскостности
- Контроль координат
- Визуальный контроль
- Контроль толщин
- Контроль рассовмещения



- Единое таможенное пространство
- 55-летний опыт разработки и производства прецизионного оптико-механического оборудования
- Высокий уровень применяемых технологий и современного оборудования
- Полный цикл разработки и производства
- Высококвалифицированный персонал
- Высокое качество изделий подтверждено национальными и международными стандартами
- Возможность комплексной поставки оборудования. В том числе, адаптированного для Российского рынка программного обеспечения для поддержки процессов изготовления фотошаблонов и 3D-моделирования для фотолитографии компании GenISys (Германия)

