

НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ЭЛЕКТРОНИКИ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ МИРА

ПЛЕНАРНАЯ ЧАСТЬ КОНФЕРЕНЦИИ "МИКРОЭЛЕКТРОНИКА – ЭКБ И ЭЛЕКТРОННЫЕ МОДУЛИ"

Ю.Ковалевский

Со 2 по 7 октября в г. Алушта состоялся III Международный форум "Микроэлектроника 2017", в рамках которого прошла конференция "Микроэлектроника – ЭКБ и электронные модули", а также Фестиваль инноваций. Это мероприятие, в работе которого приняли участие более 400 специалистов, собрало на одной площадке представителей более 178 предприятий и образовательных учреждений и стало одним из важнейших событий в области электронных технологий. Настоящая статья посвящена докладам, представленным на пленарном заседании конференции, которые во многом отражают текущее состояние и перспективы мировой и отечественной электронной промышленности, а также достижения российской электронной и радиоэлектронной отрасли, ее потребности и стоящие перед ней вызовы в условиях необходимости обеспечения технологической независимости страны и цифровой трансформации общества.

Пленарная часть конференции была очень насыщенной, и проводивший ее генеральный директор АО "НИИМА "Прогресс" В.В.Шпак, поприветствовав участников, сразу передал слово

Почетному президенту конференции "Микроэлектроника – ЭКБ и электронные модули", руководителю межведомственного Совета главных конструкторов по электронной компонентной базе РФ, генеральному директору АО "НИИМЭ", д.т.н., проф., акад. РАН Г.Я.Красникову.



В начале своего доклада Г.Я.Красников отметил, что данная конференция набирает популярность и становится одним из важнейших событий в электронной жизни России, а также призвал руководителей секций и других участников представить к концу мероприятия свои предложения.

Далее докладчик, уделив внимание истории создания микроэлектроники и отдав дань уважения ученым, стоявшим у истоков этого направления науки и техники, перешел к вопросам развития современных интегральных схем (ИС), которые активно обсуждаются в настоящее время.

В условиях непрекращающегося стремления к сокращению размеров транзистора, современное развитие микроэлектроники в большой степени связано

с трехмерными транзисторными структурами для уменьшения занимаемой транзистором площади. Докладчик привел основные проблемы, связанные с уменьшением топологических размеров, среди которых были названы необходимость уменьшения разброса технологических параметров и, как следствие, удорожание оборудования, задача снижения задержек в межсоединениях и уровня утечек, обеспечение приемлемого соотношения сигнал/шум, а также контроля электромиграции медных проводников с помощью барьерных слоев, блокирующих диффузию.

На текущий момент все эти проблемы решаются, и в этом большую роль играет применение новых материалов. Кроме того, ведутся работы в отношении развития различных типов литографии. На данный момент даже для проектной нормы 10 нм используется длина волны 193 нм, что вызывает ряд проблем, в частности необходимость применения фактически четырех процессов литографии, в результате чего растет стоимость техпроцесса и падает процент выхода годных. В то же время совсем недавно компания ASML опубликовала информацию о том, что она решила проблему сканера на экстремальном ультрафиолете с длиной волны 13,6 нм, что может стать существенным прорывом в снижении стоимости изготовления транзистора.

С точки зрения повышения быстродействия, обычный планарный МОП-транзистор фактически исчерпал себя еще в начале 2010-х годов, поэтому стали появляться новые структуры, в том числе на основе кремния на изоляторе (КНИ) с полным обеднением и многозапорные транзисторы, включая FinFET.

Докладчик отметил, что для технологии FinFET цена транзистора с его уменьшением не падает, а растет. В этом смысле с развитием данной технологии стал нарушаться закон Мура. Поэтому некоторые компании используют обе технологии параллельно: КНИ с полным обеднением – для рынков, где более важна низкая стоимость, и FinFET – для изделий, где важнейшими факторами являются плотность и быстродействие ИС.

Также докладчик рассказал о таком направлении, как квантовые вычисления, представляющие собой новый подход к решению задач, который, вопреки распространенному заблуждению, не призван заменить современные процессоры, но может их дополнить. Для квантовых вычислений разработан ряд алгоритмов, которые позволяют очень быстро решать некоторые виды задач, в частности в области криптографии, однако вопрос их реализации остается проблемным.

Г.Я.Красников также уделил внимание наиболее перспективным моделям создания квантовых компьютеров и отметил большой прогресс в отношении времени жизни (когерентности) кубитов для сверхпроводников.

Вернувшись к структурам классических ИС, Г.Я.Красников рассмотрел перспективные варианты реализации транзисторных структур, таких как транзисторы на кремниевой основе с каналами из германия, а также сложных соединений индия, галлия и мышьяка или сурьмы. Также в докладе было уделено внимание другим структурам, в том числе вертикальным транзисторам и перспективным 3D-структурам с компактными межсоединениями между кристаллами на основе вольфрама.

В заключение доклада Г.Я.Красников привел прогнозы развития ИС, согласно которым уже примерно в 2035 году ожидается создание микросхем более чем с одним триллионом транзисторов. Эти перспективы указывают на то, что влияние микроэлектроники на нашу жизнь будет увеличиваться с каждым годом, внося в нее качественные изменения.

Следующий доклад, посвященный особенностям элементной базы СБИС на основе технологии КМОП КНИ с полным обеднением, представил **д.т.н., проф. Н.А.Шелепин (АО "НИИМЭ")**.

Н.А.Шелепин, как и предыдущий докладчик, уделил внимание причинам появления технологий КНИ с полным обеднением и FinFET.

В связи с высокой стоимостью технологии FinFET, в Европе была запущена крупная программа по развитию технологии КНИ. В основе этой технологии продолжает оставаться планарный транзистор, что приводит к ряду преимуществ, таких как относительная простота проектирования в сравнении с FinFET.

Среди основных особенностей современных структур на основе полностью обедненного кремния на изоляторе: применение супертонкого кремния и супертонкого изолирующего диэлектрика, под которым выполнены изолированные области кремния в подложке для задания различного смещения области каналов, что позволяет переводить одни и те же транзисторы из состояния сверхмалого потребления и меньшего быстродействия в состояние большего потребления, но существенно более высокого быстродействия. Также было отмечено, что в этих транзисторах применяется нелегированная область канала.

Докладчик рассказал о результатах моделирования с помощью системы TCAD, где на простой модели КНИ-структуры было показано, что в зависимости от напряжения смещения на подложке при толщине кремния 5 нм удастся изменять токи утечки на несколько порядков.



Также было исследовано влияние работы выхода затвора на токи утечки и ток насыщения. Результаты моделирования показали, что при работе выхода в области 4,6 эВ наблюдаются приемлемые токи утечки, при этом существенное отклонение от этой области вызывает недопустимые характеристики либо для р-, либо для п-канальных транзисторов. Подобные результаты были получены и для токов насыщения, которые для данной модели оказываются примерно равными для р- и п-канальных транзисторов при работе выхода около 4,7 эВ.

В качестве выводов Н.А.Шелепин отметил, что анонсированные характеристики технологии КНИ с полным обеднением обещают получение лучшего соотношения между потребляемой мощностью и производительностью цифровых СБИС по сравнению с технологией FinFET для многих областей применения, и ожидается интересное противостояние технологий в условиях существенно больших затрат на становление технологии FinFET.



Д.т.н., проф. С.Г.Бобков (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН)

поделится опытом разработки и производства микросхем промышленного назначения. Докладчик сообщил, что за последние 15 лет в институте разработано около 70 микросхем, из них – порядка 20 различных микропроцессоров. С 2012 года начат серийный выпуск комплекта микросхем с коммуникационной средой RapidIO с нормами 180 нм, а с 2016 года – СнК 1890ВМ8Я (универсальный процессор) и 1890ВМ9Я (DSP процессор) с технологическими нормами 65 нм.

Помимо аппаратных средств институт занимается разработкой программного обеспечения. Одним из продуктов в этой области является операционная система реального времени "Багет", ядро которой представляет собой полностью собственную разработку.

В настоящее время уже существует третье поколение средств вычислительной техники (СВТ) "Багет", обладающее производительностью 0,5–10 Тфлопс и основанное на микропроцессорах 1890ВМ8Я. Все блоки этих микропроцессоров также собственной разработки института. В докладе также были представлены характеристики микропроцессора, разрабатываемого в рамках ОКР "Базис-Б1".

Рассказывая о проблемах, с которыми столкнулся институт при производстве микросхем и компьютеров, С.Г.Бобков сообщил, что параметры микросхем, производившихся на зарубежных фабриках, из-за

периодического изменения техпроцессов со временем начинали отличаться от тех, которые наблюдались непосредственно после сдачи ОКР. Поэтому докладчик порекомендовал закладывать определенные запасы в характеристиках для обеспечения долговременного выпуска качественных изделий. Кроме того, иногда техпроцессы на зарубежных фабриках заменяются новыми, что приводит к необходимости перепроектирования ИС.

Среди других проблем были отмечены: неспособность коммерческих САПР производить моделирование с учетом некоторых экстремальных условий эксплуатации, отсутствие производства динамической и флеш-памяти в России, высокая стоимость российских ИС из-за отсутствия массового спроса и проч.

Также докладчик привел основные положения, заложенные в разработку изделий института, особо подчеркнув отказ от использования импортных IP-блоков и кооперацию с ведущими компаниями-разработчиками, и поделился опытом применения САПР и организации производства на отечественной фабрике.



Д.т.н., проф. А.Ю.Никифоров (НИЯУ МИФИ)

показал, как требования радиационной стойкости могут гарантировать технический уровень разработки электронной компонентной базы (ЭКБ).

Если рассмотреть список условий, при которых возможно задание требований радиационной стойкости, то работоспособность образцов изделий в условиях дестабилизирующих испытательных воздействий является лишь одним из них наряду с такими условиями, как, собственно, наличие самих образцов и соответствующей реальности технической документации, работоспособность образцов в нормальных условиях и в заданном диапазоне температур и др. Таким образом, по словам докладчика, если изделие проходит испытания на радиационную стойкость, это автоматически "доказывает теорему о существовании" этого изделия.

Кроме того, результат радиационных испытаний, кроме соответствия требованиям ТЗ, характеризует отсутствие узких мест и грубых ошибок в изделии, техпроцесс предприятия, квалификацию разработчика и другие факторы, становясь, таким образом, универсальным идентификатором изделия. При радиационных испытаниях активизируется вся совокупность функциональных и паразитных связей в изделии в критичных режимах и условиях работы, что делает эти испытания очень эффективным инструментом диагностики ЭКБ.

Наконец, положительный эффект радиационных испытаний эффективно работает для всех категорий потребителей независимо от уровня требований к радиационной стойкости.

В подтверждение этих тезисов докладчик привел ряд примеров, когда проведение радиационных испытаний с очевидностью подтвердило качество разработанных образцов и их пригодность к выполнению заданных функций либо, наоборот, выявило ошибки в разработках, позволив предпринять корректирующие меры и получить в результате качественное изделие.

Доклад **к.т.н. В.Б.Стешенко (АО "РКС")** был посвящен проекту дорожной карты развития микроэлектроники космического назначения.

Докладчик привел примеры ближнесрочных планов с горизонтом три года по созданию аппаратуры, увязанных с разработкой ЭКБ. Для целей более долгосрочного планирования были представлены элементы формируемой дорожной карты, первым вопросом в которой является унификация, начиная с бортовой аппаратуры и заканчивая ЭКБ. Также сформированы примерные планы и обозначены прогнозируемые потребности к 2020, 2025 и 2030 годам по основным направлениям, включающим связь, навигацию, дистанционное зондирование Земли, платформы аэрокосмических аппаратов и др. Отдельно были представлены существующие и требуемые характеристики таких компонентов, как память, интерфейсы, СВЧ-изделия и пассивные компоненты (резисторы и конденсаторы).

Докладчик выделил ряд проблем, связанных с перспективами развития ЭКБ космического применения, среди которых рост стоимости производства ИС с переломными проектными нормами и отсутствие необходимых материалов и оборудования, а также обратил внимание на необходимость разработки специализированных продуктов в области САПР.

Также В.Б.Стешенко уделил внимание развитию технологий, упомянув, в том числе, проект "Сборочный дом", представляющий собой применение ЭКБ в сборке 2D+, и перспективы 3D-структур.

В заключение докладчик отметил необходимость объединения усилий микроэлектронного сообщества и космической отрасли в составлении прогнозов до 2025–2030 годов и координации работ на перспективу.



В начале своего доклада **д.т.н., проф. В.М.Исаев (ФГУП "МНИИРИП")** сообщил, что при выполнении задачи по разработке информационной базы по ЭКБ анализ ситуации показал целесообразность создания единого информационного пространства, объединяющего информационные ресурсы многих предприятий электронной и радиоэлектронной промышленности в интересах каждого участника процесса.

На данный момент уже разработанные информационные ресурсы ФГУП "МНИИРИП" включают в себя базы данных (БД) ЭКБ отечественного и иностранного производства, а также ведущихся и запланированных ОКР. В разработке находятся еще две БД.

БД ЭКБ отечественного производства содержит более 31 тыс. типов изделий. Система позволяет находить наиболее близкие существующие или разрабатываемые отечественные аналоги иностранных компонентов, а также осуществлять поиск в обратном направлении. В БД компонентов содержится также расширенная информация о параметрах изделий в виде информационных листов, прикрепленных к соответствующим позициям.

В завершение доклада была приведена структурная схема объединенного информационного пространства, показывающая, что БД "МНИИРИП" – лишь ее часть наряду с информационными базами Роскосмоса, ЦКБ "Дейтрон", "Электронстандарта" и др. Для управления этими БД предлагается создать соответствующую систему, способную объединить их в общее информационное пространство.

д.т.н., проф., член-корр. НАН Беларуси А.И.Белоус (ОАО "ИНТЕГРАЛ", Республика Беларусь) посвятил свой доклад состоянию, проблемам и тенденциям развития космической микроэлектроники.

Докладчик сообщил аудитории, что на сегодняшний день ОАО "ИНТЕГРАЛ" выпускает более 2 тыс. типов микросхем и 500 типов полупроводниковых приборов.

А.И.Белоус привел анализ основных отказов космических аппаратов (КА), среди которых большинство связано с радиоаппаратурой, программными



и аппаратными средствами. Отказы ЭКБ КА преимущественно связаны с электростатическими разрядами и одиночными событиями. Также докладчик обратил внимание на проблемы применения зарубежной ЭКБ как класса Industrial, так и Mil и Space.

Далее А.И.Белоус рассказал о методах повышения радиационной стойкости БИС и отметил тенденцию к уменьшению размеров корпусов ИС, что приводит к проблеме рассеяния тепла.

В качестве новой угрозы докладчик подробно рассмотрел аппаратные "закладки", отметив, что существует множество каналов их внедрения, среди которых одним из самых опасных было названо применение "инфицированных" IP-блоков.



Следующий доклад представил **д.т.н., проф. К.О.Петросянц (НИУ ВШЭ)**. Приведя обзор областей применения электроники с экстремальными условиями эксплуатации, он обратился к состоянию работ в области моделирования полупроводниковых компонентов с учетом внешних воздействующих факторов, а именно радиации,

высоких и низких температур. Было подчеркнуто, что за рубежом этому вопросу уделяется очень большое внимание. Вместе с тем, наиболее широко распространенные

системы TCAD крупных компаний не способны решать ряд задач в этой области, либо решают их недостаточно качественно. В результате за рубежом появился ряд малых фирм, предлагающих услуги под конкретные задачи заказчика.

Для обеспечения выполнения востребованных задач моделирования на базе распространенных систем TCAD институтом было создано около 10 новых моделей физических эффектов, которые были встроены в существующие коммерческие версии TCAD. К.О.Петросянц заметил, что результаты данной работы демонстрировались за рубежом и показали свое превосходство над зарубежными аналогами.

Далее докладчик перечислил основные проблемы TCAD-моделирования и привел подходы к их решению. Среди этих проблем – большие временные затраты на полное 3D-моделирование, что удается преодолеть за счет применения квази-3D-подхода. Вторая проблема – разрыв между TCAD-моделированием и экстракцией



SPICE-параметров и трудности в реализации сквозного цикла TCAD – SPICE. Для ее решения были разработаны унифицированные модели для биполярного и МОП-транзистора. За основу бралась стандартная модель из библиотек SPICE-подобных программ, затем для нее выделялся набор радиационно-зависимых параметров, для которых вводились выражения, связывающие параметр с радиационным фактором, и наконец, к стандартной модели подключалась дополнительная подсхема, учитывающая радиационные эффекты, которые не учитывались в стандартной модели.

Для решения задачи моделирования при воздействии высоких температур был применен



подобный подход. Это позволило повысить верхний температурный предел работоспособности SPICE-модели до +300 °С. Также была разработана модель для сверхнизких температур на основе простых аппроксимаций для температурно-зависимых параметров, для которой применима стандартная процедура экстракции.

Что касается электро-тепло-радиационных SPICE-моделей, докладчик сообщил, что эти работы начаты недавно, однако уже получены некоторые предварительные результаты.



К.Т.н. И.Л.Корнеев (АО "НИИМА "Прогресс") рассказал о проблемах локализации навигационно-связной аппаратуры и состоянии дел с разработкой отечественных приемников и модулей локальных систем навигации.

Он начал свой доклад с необнадеживающей цифры: доля иностран-

ных компонентов в электронной аппаратуре общего применения, производимой на территории России, в настоящее время составляет 95%. Докладчик заметил, что ни одна страна в мире не может обойтись без импорта электронных компонентов, однако отечественная продукция при конкурентных цене и качестве должна занимать значимую долю отечественного рынка, иначе перспектив у массового производства в России просто не будет. В то же время в России существует массовое производство конечной гражданской продукции в сегменте навигационной аппаратуры потребителей (НАП), а также необходимый для его развития рынок, демонстрирующий существенный рост. При этом доля российских модулей приемников в данном оборудовании за шесть лет упала с 90% в 2011 году до 0,3% в 2016 году. По словам докладчика, главная причина этого заключается в ценовом факторе. Анализ ситуации показывает, что цены отечественной продукции могут быть конкурентными, но нужна государственная поддержка продаж, например, для аппаратуры таких систем как ГАИС "ЭРА-ГЛОНАСС".

Для поддержки отечественного производителя требуется оценка степени локализации продукции. Докладчик сравнил существующие подходы к данной оценке, назвав наиболее объективным расчет на основе средств, вложенных в разработку и постановку на производство отечественной ЭКБ.

Кроме того, И.Л.Корнеев рассказал о разработках компании, в частности о новом приемнике ГЛОНАСС/GPS/Galileo PRO-04 и о решениях в области навигационного оборудования для точного земледелия, а также озвучил некоторые предложения для обеспечения поддержки отечественных компаний, работающих в области создания оборудования ГЛОНАСС/GPS.

К.Т.н., доцент А.В.Уланова (НИЯУ МИФИ) представила доклад, подготовленный целым коллективом авторов. Доклад состоял из двух частей, первая из которых была посвящена анализу текущих



работ, достижений и перспектив развития оптоэлектронных систем для экстремальных условий эксплуатации. Докладчик сообщила, что в настоящее время среди работ по группам ЭКБ оптоэлектроника занимает менее 10%, однако количество этих работ растет. Среди областей разрабатываемых опто-

электронных изделий докладчик отметила радиофотонику, квантовую электронику, компоненты ВОЛС и фотоэлектронику. Около половины ОКР в области оптоэлектроники, поставленных в 2011–2017 годах, относится к изделиям фотоники. Вместе с тем, нарастает востребованность компонентов ВОЛС.

Вторая часть доклада представляла собой краткий обзор доминирующих радиационных эффектов на примере двух основных классов оптоэлектронных изделий: одноэлементных и матричных. В отношении первых докладчик выделила структурные дефекты, как более критичные; менее критичными были названы дозовые, объемные и одиночные эффекты. Для матричных изделий все перечисленные эффекты были отмечены как критичные, кроме объемных, которые были отнесены к среднему уровню критичности.

Также докладчик рассмотрела несколько особенностей радиационного поведения оптоэлектронных изделий, которые влияют на задание технических требований.



Ю.О.Мячичин (АО "ПКК Миландр"), представляя доклад о решении компании в области АСКУЭ, заметил, что понятие "доверенные системы" в основном ассоциируется с такими критически важными объектами, как военная техника, банковские системы, атомная энергетика и т.п. В то же время с развитием цифро-

вой экономики защита информации начинает играть ключевую роль и в таких устройствах, как счетчики потребления электроэнергии, которые становятся "умными" и, объединяясь в информационную систему, позволяют не только считывать с них данные, но и удаленно управлять ими, что создает новые риски в области информационной безопасности.

Для решения задачи защиты информации, передаваемой по открытым каналам, компанией "Миландр" разрабатывается микропроцессор на основе ядра ARM Cortex M4F, в котором также имеется защищенное ядро RISC-V, полностью разработанное в России.

Докладчик представил платформу "Инфосфера", позволяющую строить единую информационную систему учета ресурсов, а также приборы и модули – электросчетчики, контроллер сети, модемы и др. – предназначенные для автоматизированного сбора и передачи данных и построения системы "умный дом". Также было уделено внимание системному ПО "Инфосфера", обеспечивающему мониторинг, управление и аналитику в системах сбора и передачи данных ЖКХ, а также безопасность всех этих составляющих.

Последний пленарный доклад конференции, который был посвящен системам тестирования электроники и радиоэлектроники, представил **О.Севоян (YEA Engineering, Республика Армения)**. Обозначив значимость роли тестирования в обеспечении качества при разработке и производстве электронных изделий и аппаратуры, в том числе для целей импортозамещения, докладчик познакомил аудиторию с решениями

компании в области автоматизированной контрольно-проверочной аппаратуры (КПА). В качестве примера была рассмотрена разработка автоматизированной КПА для тестирования GSM-репитеров при их производстве, которая позволила сократить время тестирования с 72 ч до 40–75 мин.

Также были представлены примеры других решений компании, включая системы тестирования высокомоощных БТИЗ и МОП-транзисторов, СБИС, статической памяти, АЦП, универсальную систему тестирования электронных компонентов, систему для испытаний кабелей и жгутов и др.

На этом пленарная часть конференции была закончена, а обсуждение наиболее актуальных вопросов продолжилось в рамках секций и круглых столов.

Работе круглых столов форума будет посвящена отдельная статья в следующем номере нашего журнала. ●

