

# СИМФОНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ: ГЛАВНОЕ – НЕ ОСТАНАВЛИВАТЬСЯ ИТОГИ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ "МИКРОЭЛЕКТРОНИКА-2015"

("ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ И МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ МОДУЛИ –  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ")

И.Шахнович

"Мы соскучились по таким конференциям. Сбылась мечта многих специалистов", – сказал на открытии Международной конференции "Микроэлектроника-2015" руководитель департамента координации и НИОКР АО "Росэлектроника" Александр Сергеевич Комаров. И эти слова одного из ведущих отечественных экспертов в области электроники лучше всего отразили мнение очень многих участников этого нового в истории российской электроники научного форума.

Впрочем, все новое – это хорошо забытое старое. Достаточно вспомнить конференцию по микроэлектронике, традиционно проходившую в Гурзуфе в советские времена. О необходимости ее возрождения говорили многие, и прежде всего – профессор Владимир Георгиевич Немудров, главный научный руководитель АО "НИИМА "Прогресс". Именно от НИИМА "Прогресс" поступила инициатива провести конференцию по микроэлектронике. Организаторами также стали ОАО "НИИМЭ и Микрон" и Национальный исследовательский университет "МИЭТ" при информационной поддержке ЗАО "РИЦ "ТЕХНОСФЕРА". О значимости конференции говорит тот факт, что ее президентом выступил академик РАН Г.Я.Красников, председателем оргкомитета – д.т.н. В.Г.Немудров, его сопредседателями – ректор МИЭТ, член-корр. РАН Ю.А.Чаплыгин и заместитель генерального директора ОАО "НИИМЭ и Микрон" профессор Н.А.Шелепин. Заместители председателя оргкомитета – временный генеральный директор АО "НИИМА "Прогресс" к.э.н. В.В.Шпак и к.ф.н. С.Л.Фоттелер.

29 сентября 2015 года работа конференции "Микроэлектроника-2015" началась. Это было очень интересное мероприятие с точки зрения разнообразия тем, поднятых вопросов, качества докладов, статуса выступающих. Одинаково интересно было слушать и доклады специалистов, три года назад закончивших университет, и выступления член-корреспондента и академика РАН. Четыре насыщенных дня более 200 специалистов из 86 организаций радиоэлектронной отрасли из 23 городов России, а также из Беларуси и КНР провели в тесном общении по вопросам микроэлектроники. Три круглых стола, 11 пленарных докладов, почти 150 докладов на восьми секциях – и практически каждый из них вызывал обсуждение и живую дискуссию.

Разумеется, описать научную часть столь разнообразной конференции совершенно невозможно. Мы пойдем другим путем – попробуем показать, что новая конференция может стать весьма действенным и эффективным инструментом развития всей российской отрасли электроники, средством решения многих важных проблем.

Действительно, конференция охватила практически все основные аспекты микроэлектроники. Так, на ней работали секции "Методы и алгоритмы САПР СБИС" (руководитель – член-корр. РАН С.Г.Русаков), "Материалы микро- и нанoeлектроники. Технология и элементная база современных СБИС и электронных модулей" (д.т.н., проф. Н.А.Шелепин), "Навигационно-связные СБИС и модули" (к.т.н. И.Л.Корнеев) и "Интегральные схемы для аппаратуры космического назначения" (к.т.н. В.Б.Стешенко), "Полузаказные СБИС. Аналоговые и аналого-цифровые микросхемы. Микропроцессоры, микроконтроллеры и системы на кристалле" (Ю.В.Завалин) и "Бортовые информационно-управляющие системы" (д.т.н. А.Л.Переверзев), "СВЧ-модули и интегральные схемы" (д.т.н., проф. Ю.В.Колковский и к.т.н. И.И.Мухин) и "Микросистемы на основе технологий микроэлектроники" (д.т.н., проф. В.Л.Тимошенко и д.т.н., проф. М.Г.Путря).

Впервые за многие годы на одной конференции собрались специалисты столь разных направлений микроэлектроники. И это очень важно – ведь все поднятые на конференции вопросы волнуют практически всех, кто работает в электронике. Особенно от радно было видеть в рамках конференции секции по СВЧ-микроэлектронике, по бортовой аппаратуре, по навигационно-связным СБИС и модулям – обычно эти темы рассматриваются отдельно.

Пленарная часть конференции стала увертюрой к последующей работе по секциям – в пленарных докладах были отражены важнейшие темы этого научного форума.

Об особенностях суб-100-нм технологий СБИС и их реализации в ОАО "НИИМЭ и Микрон" рассказал **заместитель генерального директора ОАО "НИИМЭ и Микрон" Н.А.Шелепин**. В частности, он отметил ряд ключевых сложностей освоения субмикронных технологий. Среди них – огромные трудности создания фотолитографических систем для технологий уровня 22 нм и менее, проблемы перехода на длины волн менее 193 нм. Он показал, что стоимость комплекта фотошаблонов при переходе на каждый новый технологический уровень возрастает на миллион долларов (160 тыс. долл. для 90 нм, свыше 1 млн. долл. для 45 нм, свыше 2 – для 32/28 нм, свыше 3 – для 22 нм). Докладчик остановился и на проблемах подготовки фотошаблонов, отметив, что в этом процессе начиная с топологического разрешения 180 нм наблюдается взрывной рост объемов вычислительных операций. Н.А.Шелепин затронул проблемы силицидирования (технологии пассивации поликремния), обосновав необходимость перехода от традиционного силицида титана к силициду кобальта в технологиях уровня до 90 нм и силициду никеля (65 нм и ниже). В докладе были освещены основные проблемы технологии быстрой термической обработки и подходы к их решению, отражены особенности формирования медной металлизации при снижении топологических размеров проводников. Докладчик затронул специфику проектирования СБИС с технологическим уровнем 90 и 65 нм. Отдельно Николай Алексеевич остановился на экспериментальных работах "НИИМЭ и Микрон", проводимых с целью освоения технологии уровня 65 нм.



## Сравнение технологий и параметров ППМ РЛС с АФАР космического назначения

Параметр	TerraSAR-X/TanDEM-X (Astrium (Германия))	COSMOSkyMed Thales Alenia Space (Италия)	НПП "Пульсар"
Размер ППМ, мм	400×700	210×285	180×250
Число ППМ в секции	32	32	32
Число секций в АФАР	12	40	40
Кол-во ППМ в АФАР	384	1 280	1 280
Выходная импульсная мощность, Вт	6	5,5	18
Рабочая полоса, МГц	300	400	500
КПД, %	30	32	55



**Заместитель генерального директора НПП "Пульсар" Юрий Владимирович Колковский** рассказал о результатах внедрения на предприятии GaN-технологий в аппаратуру РЛС с АФАР. Он отметил, что данная технология создается в кооперации ряда предприятий, таких как "Светлана-Рост", "Светлана-ЭП", "Элма-

Малахит", ИСВЧПЭ РАН, НИЦ "Курчатовский институт", МИЭТ и др. В этой цепочке "Пульсар" реализует собственно планарную технологию, то есть создает на эпитаксиальных структурах готовые приборы – транзисторы и монолитные ИС (МИС). Разработаны серии СВЧ-транзисторов, МИС и микромодулей, при этом все приборы обладают высокой радиационной стойкостью. Производятся не только полупроводниковые приборы, но и законченные аппаратные модули, в том числе приемо-передающие модули (ППМ) X-диапазона с импульсной мощностью свыше 500 Вт. Очень важно, что для

получения оптимальных характеристик всей системы на предприятии используется сквозной маршрут разработки и производства от кристалла до системы. Докладчик особо подчеркнул, что "в обратную сторону эта задача не решается".

Говоря о достоинствах именно GaN-технологии, Ю.В.Колковский привел сравнение параметров ППМ, созданных на "Пульсаре", с функционально аналогичными модулями на основе GaAs-приборов, производимые двумя ведущими европейскими компаниями – Astrium (Германия) и Thales Alenia Space (Италия). Эти модули используются в РЛС систем космического зондирования Земли TerraSAR-X/TanDEM-X и COSMOSkyMed соответственно. Видно, что модули НПП "Пульсар" отличаются рабочей полосой, габаритами и главное – большими КПД (в 2 раза) и выходной мощностью (в 3 раза). Этого удалось достичь за счет известных достоинств GaN-приборов, а именно более высоких рабочих напряжения и температуры, а также высокой радиационной стойкости.

Докладчик подчеркнул, что эффект от применения технологий GaN проявился не только в передающем канале (для усилителей мощности), что



## Номенклатура освоенных БМК

Серия	Логическая емкость (тыс. вентиляей)	Число функциональных выводов	Рабочая частота, МГц	Поставщик	Изготовитель кристаллов
1515XM1 (1 тип)	3,2	62	10	ОАО "Ангстрем"	
1593 (2 типа)	3,3–6,4	62	35	ОАО "Ангстрем"	
5503 (4 типа)	0,6–6,5	26–62	25	НПК "Технологический центр"	
1537 (2 типа)	4,5–17,8	40–120	40	ОАО "Ангстрем"	
1592 (5 типов)	11,2–408,5	58–176	50	ОАО "Ангстрем"	
5515 (1 тип)	230	43	10	ОАО "Ангстрем"	
5516 (3 типа)	60–100	116–176	60	ОАО "Ангстрем"	
5517 (1 тип)	6	62	20	ОАО "Ангстрем"	
5522 (2 типа)	23–120	58–176	50–80	ОАО "Ангстрем"	
5510 (2 типа)	500–1000	160–208	100	ОАО "НИИМЭ и Микрон"	
5529 (5 типов)	30–2 200	26–272	100	НПК "Технологический центр"	ОАО "НИИМЭ и Микрон"

общеизвестно, но и в приемном тракте. Традиционно считается, что GaN-технологии – не самый оптимальный вариант для создания маломощных усилителей (МШУ), поскольку GaAs-приборы обладают номинально более низким коэффициентом шума. Однако, как отметил Ю.В.Колковский, важно рассматривать шумы не отдельного прибора, а приемного модуля в целом. Коэффициент шума GaAs-приборов чувствителен к мощности входных помех, и на входе антенной решетки в результате интерференции сигналов он может быть весьма значительным, до 50–70 Вт. При этом приемные тракты с GaAs-приборами требуют мощных устройств защиты. Это приводит к потерям и, как следствие, к увеличению коэффициента шума всего тракта. Применяя GaN-приборы, устойчиво работающие при уровне мощности на входе до 20 Вт (что

характерно для АФАР данного назначения), удалось примерно на 40% увеличить энергетический потенциал системы. При этом за счет отказа от устройства защиты упростился входной тракт, что снизило габариты ППМ.

**Главный конструктор направления ИМС НПК "Технологический центр" Андрей Николаевич Денисов** рассказал о проблемах создания и применения отечественных полупроводниковых СВЧ-устройств и путях их решения. Он отметил, что современную аппаратуру специального назначения



невозможно создать без специализированных ИС, используя только стандартные компоненты. Это связано не только с функциональностью, но и с особенностями стойкости к внешним воздействующим факторам, требованиям поддержки в производстве в течение 15 и более лет и т. д. Зачастую потребность в специальных СБИС исчисляется десятком штук, а сроки их разработки оказываются крайне сжатыми – до 6–12 месяцев. При этом важно обеспечивать соблюдение требований стандартов для ЭКБ специального применения на всех этапах разработки и производства таких СБИС. Все эти требования проще всего выполнить, используя полузаказные СБИС – ПЛИС, базовые матричные кристаллы (БМК) и т. п. Их принципиальная особенность – не нужно проводить аттестационные испытания каждой вновь разработанной СБИС, достаточно аттестовать одну тестовую СБИС из серии, а дальше полученные результаты испытаний можно распространять на все СБИС, созданные на данной полузаказной микросхеме. Таким образом существенно экономятся время и средства на разработку.

А. Н. Денисов описал номенклатуру полузаказных ИС, производимых в России. Если 20 лет назад в стране все в основном использовали знаменитый БМК 1515ХМ1 (производитель – "Ангстрем") емкостью 3 тыс. вентиля с рабочей частотой до 10 МГц, то сегодня созданы БМК емкостью до 2,2 млн. вентиля. Этого достаточно для самых серьезных проектов. В области ПЛИС ситуация сложнее: их выпускает только ВЗПП-С (разработка КТЦ "Электроника") и по номенклатуре и характеристикам они не устраивают разработчиков аппаратуры. Появились и сложнофункциональные базовые кристаллы, выпускаемые НИИМА "Прогресс" – это система на кристалле, представляющая собой комбинацию сложных функциональных устройств (процессорное ядро, шинная архитектура, интерфейсы) и БМК. Следующий уровень – это базовые кристаллы, серию которых предлагает "Микрон". По сути, это микросхемы с заданной периферией, при разработке которых используются стандартные аттестованные библиотеки.

Докладчик особо отметил, что одна из важнейших проблем, возникающих при полузаказном проектировании СБИС – отсутствие отечественных САПР. Фактически единственное в стране решение, ориентированное на проектирование БМК – это САПР "Ковчег", разрабатываемый сегодня в НПК "Технологический центр".



**Заместитель генерального конструктора ОАО "Российские космические системы" Владимир Борисович Штешенко** рассказал о современном состоянии и научно-технических проблемах создания космических микросистем. В частности, он отметил, что за последние несколько десятков лет кардинально изменились требования к бортовой аппаратуре космических аппаратов (КА).

Так, срок активного существования с трех лет (в 1990-е годы) вырос до 15 лет, масса аппаратуры снизилась на порядок, потребляемая мощность – в 5–9 раз.

Причем если отечественные дизайн-центры и даже отдельные производства находятся на передовом технологическом уровне и вполне могут удовлетворить все текущие и перспективные требования космической отрасли, то сама космическая отрасль не готова к использованию передовых разработок в области микросхем. Мы "постепенно отказываемся от проектирования сложных космических аппаратов с обработкой на борту – нет коммерческой бортовой нагрузки, разрабатываем только "шасси" для сложных бортовых комплексов иностранного производства, предпринимались попытки закупки даже военных спутников и т. д. Выход из создавшейся ситуации – возобновление системного проектирования сложных КА, в том числе и коммерческих, на основе самых передовых системных концепций и отечественной элементной





## Потребность российской космической отрасли в системах памяти и контроллерах высокоскоростных интерфейсов

Характеристики	Есть	Требуется
Память		
Объем памяти		
энергонезависимой, Мбайт	1	16-128
оперативной, Мбайт	4	128
Скорость записи информации		
энергонезависимой, Мбит/с	200	800
оперативной, Мбит/с	80	600
Внутренняя коррекция ошибок (ЕСС)	Нет	Требуется
Контроллеры интерфейсов		
Скорость передачи информации, Гбит/с	1,25	5
Число каналов маршрутизации	6	16
Потребляемая мощность, Вт	6	3
Тип корпуса	Стандартный с периферийными выводами (FLATPACK)	Матричный со столбиковыми выводами (CGA)

базы (связные, радиолокационные, электронно-оптические системы).

В основу такой концепции может лечь принцип создания унифицированных функциональных модулей. Причем если вкладываются деньги в новую аппаратуру, то и делать ее нужно по новым технологиям". В.Б.Стещенко описал подходы к созданию унифицированных микромодулей и микросборок, отметил важность унификации базовых несущих конструкций – это путь, которым идут все зарубежные создатели КА.

Докладчик также подчеркнул, что стойкость к воздействию факторам космического пространства возможно обеспечивать не только за счет специальных технологий и материалов, но и на основе схемотехнических

решений, используя коммерческие технологии объемного кремния и кремния на изоляторе. "Нас долго пытались убеждать, что в космос не летают микросхемы с технологиями ниже 350 нм. Ничего подобного – зарубежные компании в бортовой аппаратуре КА давно используют СБИС на основе глубоко субмикронных КМОП-технологий, обеспечивая отказоустойчивость за счет специальных схемотехнических решений". В.Б.Стещенко подчеркнул, что радиационную стойкость совершенно не обязательно обеспечивать на уровне кристалла СБИС: есть решения на уровне корпусов ИС, микромодулей и блоков аппаратуры в целом. В то же время, современные требования по хранению и обработке информации таковы, что вынуждают использовать



в бортовой аппаратуре наиболее быстродействующие средства обработки, высокоскоростные интерфейсные шины, большой объем памяти. Все это без современных субмикронных технологий СБИС не создать.

В первую очередь, по мнению докладчика, космическая отрасль нуждается в специализированных контроллерах и маршрутизаторах с высокоскоростными интерфейсами, а также в памяти большого объема. Отсутствие у отечественной промышленности компетенций по созданию ПЛИС высокой степени интеграции, с рабочими частотами более 300 МГц, формирует потребность в создании специализированных контроллеров и маршрутизаторов шин передачи данных и управления. В их состав должны входить высокоскоростные интерфейсы передачи данных (RapidIO, SATA, PCIe и др.), интерфейсы управления (МКО, Space Wire) и контроллеры прямого доступа к памяти для буферизации информации. Аналогично, в России нет компетенций в области разработки и производства флеш-памяти и оперативной памяти большой емкости (например, типа DDR SDRAM). Соответственно, необходимо создание специализированных модулей, обеспечивающих долговременное энергонезависимое хранение информации объемом в десятки и сотни гигабайт и кратковременное энергозависимое хранение с высокой скоростью перезаписи и чтения объемом в сотни мегабайт.

В.Б.Стешенко отметил, что ключевой задачей при разработке и производстве изделий микроэлектроники для КА является приемлемая стоимость в малой серии при обеспечении характеристик стойкости к действующим факторам космического пространства и надежности. Необходима разработка перспективного плана развития микроэлектроники для ответственных применений, включая бортовую аппаратуру КА с учетом привязки к развитию отечественной микроэлектронной промышленности в целом. Необходимо ускоренное развитие средств проектирования и моделирования, а также разработка системы методических и нормативных документов, регламентирующих моделирование и испытания.

### Начальник отдела разработки аналого-цифровых микросхем НИИМА "Прогресс" Игорь Игоревич Мухин

рассказал о перспективах развития SiGe-технологии и серии отечественных SiGe СВЧ-микросхем. Он отметил, что SiGe СБИС по объему продаж составляют 10% от общемирового выпуска микросхем. Они доминируют среди СВЧ ИС для приемопередающих трактов в системах беспроводной связи, цифрового ТВ-вещания, навигации и др. Приемопередающие модули АФАР на основе SiGe СБИС (в составе фазовращателей, аттенюаторов, МШУ, схем цифрового управления) используются в системах мобильной спутниковой связи и радиолокации в диапазоне 10–12 ГГц. Это вдвое снижает стоимость комплектации по сравнению с GaAs-схемами. Компания IBM\* (лидер в исследованиях в области SiGe-технологий) более пяти лет назад представила SiGe БИКМОП-техпроцесс 9НР, интегрирующие биполярные транзисторы (0,13 мкм) с  $F_t/F_{max}$  300/350 ГГц + КМОП 0,09 мкм + р-і-п-диоды и диоды Шоттки.

Агентство перспективных исследований МО США DARPA организует ряд программ замены GaAs-схем на SiGe-компоненты, в частности, в аналого-цифровых системах с частотами ~10 ГГц (АЦП, ЦАП, цифровые синтезаторы), в интеллектуальных системах радиотрактов с цифровой регулировкой диапазона частот, выходной мощности, усиления, изменения архитектуры и др. Программы DARPA предусматривают исследование совместных применений ИС на основе SiGe- и GaN-технологий в ППМ АФАР, системах связи, опознавания и др.



\* Полупроводниковое производство компании IBM Microelectronics с 2015 года принадлежит компании GLOBALFOUNDRIES.



Докладчик отметил такие преимущества SiGe-технологии, как возможность построения СВЧ-радиотрактов в диапазоне до ~20 ГГц и малые уровни шумов биполярных SiGe-транзисторов (1–3 дБ в диапазоне частот до 10 ГГц) при малых плотностях тока (0,1–0,5 мА/мкм<sup>2</sup>). Эта технология позволяет совмещать на одном кристалле цифровые и аналоговые СВЧ-схемы высокой степени интеграции. При этом стоимость процесса изготовления SiGe БИКМОП микросхем и выход годных сравнимы со стандартным КМОП-процессом.

И.И.Мухин рассказал о результатах работ НИИМА "Прогресс" в области SiGe-технологий. На предприятии создана библиотека СФ-блоков (порядка 30 типов) для диапазона частот 1–10 ГГц. На их основе проведены оперативные (менее года) разработки SiGe СБИС функционально законченных СВЧ-трактов. В 2013–2014 годах завершены разработки с полным набором документации и испытаний 12 типов МИС, по характеристикам соответствующих уровню зарубежных аналогов. Интерес к созданным МИС проявили около 30 предприятий страны. В частности, созданы:

- СБИС селектора каналов приемника спутникового цифрового телевидения. В ней используются СФ-блоки МШУ с АРУ, смеситель, квадратурный демодулятор, усилитель промежуточной частоты (УПЧ) с АРУ, синтезатор частот, регулируемый фильтр нижних частот (ФНЧ);
- СБИС приема и передачи сигналов локальной навигации. В приемном тракте СБИС – СФ-блоки МШУ, смесители, модулятор, ФНЧ, УПЧ, АРУ, АЦП. В передающем тракте применены СФ-блоки ЦАП, модулятора, ФНЧ, предварительного усилителя мощности с АРУ, усилителя мощности. Кроме того, в СБИС использованы блоки синтезаторов частот с ГУН и цифровых схем управления.

Производственными партнерами НИИМА "Прогресс" выступают компании INP Microelectronics (Германия), предлагающая техпроцессы SGB25V с проектными нормами 0,25 мкм и SG13S с проектными нормами 0,13 мкм,

и TSMC (Тайвань), использующая технологию SiGe с проектными нормами 0,18 мкм. В то же время, компания "НИИМЭ и Микрон" объявила о создании технологии SiGe БИКМОП (на основе своего 0,18-мкм КМОП-процесса) с характеристиками, близкими к технологии SGB25V.



О перспективах развития навигационно-связных СБИС и модулей рассказал **первый заместитель генерального директора НИИМА "Прогресс" Игорь Леонидович Корнеев**. Он отметил, что в области разработки массовой аппаратуры для глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) картина отличается от других типов мас-

совой продукции. Разработка американской ГНСС GPS и российской ГЛОНАСС началась практически одновременно – орбитальная группировка ГЛОНАСС была развернута в полном масштабе. В стране были команды разработчиков, которые занялись созданием массовых навигационных приемников для свободного рынка. И сегодня в области навигационно-связной аппаратуры отечественные компании могут конкурировать с мировыми лидерами, тем самым поддерживая развитие отечественной микроэлектроники.

Основная конкурентная борьба между производителями аппаратуры ГНСС разворачивается за массового потребителя в сегментах автомобильных и портативных беспроводных устройств. В долгосрочной перспективе поставки ГНСС-устройств персонального применения будут демонстрировать устойчивый рост, на уровне 10% в год. В результате к 2018 году суммарный объем поставок вырастет до 2 млрд. единиц, при этом доля пользователей функционалом ГНСС достигнет 45% от общего числа обладателей мобильных телефонов с ГНСС-чипами.



### Сравнение рыночной цены отечественных модулей ГЛОНАСС/GPS и навигационно-связных модулей с продукцией конкурентов

Приемник	GeoС 3М	NV08С-MSM-М	Jupiter SL869	MGS2217	ITS530	Sim68R
Производитель	НИИМА "Прогресс", КБ "ГеоСтар – навигация"	КБ "Навис"	Talit / ST Microelectro- nics (чип)	M-star (MediaTek)	Ublox / MediaTek (чип)	SimCom/ MediaTek (чип)
Страна	Россия	Россия	Италия/ Франция	Тайвань	Швейцария/ Тайвань	КНР/ Тайвань
Цена (партия 10 тыс. штук), долл.	9,5	15,0	9,33	8,0	10,0	9,4

Суммарный объем поставок только специализированных ГНСС-устройств автомобильного применения вырастет в 1,76 раза по сравнению с 2014 годом (60 млн. единиц) и составит к 2020 году около 102 млн. единиц. Ежегодный объем поставок встроенных автомобильных навигационных систем с ГНСС-чипами и специальным ПО к 2022 году вырастет до 100 млн. устройств, а портативных автономных навигаторов – снизится до 20 млн. единиц. В целом, основной объем мирового рынка (87,11%) к 2020 году сформируют персональные устройства ГНСС: смартфоны, навигаторы, планшетные компьютеры, трекеры и т.п. В 2022 году объем мирового рынка навигационных устройств и продуктов ГНСС составит порядка 100 млрд. евро, а с учетом всех сервисов и устройств с подключенными навигационными опциями – почти 250 млрд. евро.

Однако сегодня этот рынок занят мировыми лидерами – компаниями, базирующимися прежде всего в Китае, на Тайване и в других странах Юго-Восточной Азии. С этими компаниями связаны fabless-компании, расположенные по всему миру (Qualcomm в США,

Mediatek на Тайване, Ublox в Швейцарии), разрабатывающие чипы и модули. В этом сегменте рынка жесточайшая конкуренция, но российских компаний среди них нет. Однако отечественные разработчики и производители навигационно-связной аппаратуры могут рассчитывать на долю в этом рынке при участии в социально значимых государственных проектах, например, "Социальный ГЛОНАСС", обеспечивающий потребности таких категорий населения как дети, пожилые люди, инвалиды и т.д.

Сравнение рыночной цены отечественных модулей ГЛОНАСС/GPS и навигационно-связных модулей с продукцией конкурентов показывает, что отечественные разработки могут быть весьма конкурентоспособными и на зарубежном рынке. В 2016 году ожидается окончание разработки нового приемника ГЛОНАСС/GPS/Galileo НИИМА "Прогресс" на основе СБИС СНП-М. Его цена составит 7,5 долл.

Для того чтобы отечественная продукция микроэлектроники продавалась на отечественном рынке, нужен ряд мер. Прежде всего, требуется государственная поддержка продаж отечественных чипов, модулей



и аппаратуры. Кроме того, необходимо организовать монтаж кристаллов в пластиковые корпуса – сегодня в России эта технология создания дешевых СБИС недоступна. Помимо этого, необходимо развивать отечественное массовое производство чипов по технологии уровня 65 нм и ниже – иначе невозможно обеспечить конкурентную себестоимость. Однако сегодня в России, по мнению докладчика, приоритеты расставлены иначе – усилия сосредоточены на разработке и производстве кристаллов. Но без создания условий для их массовых продаж заниматься этим едва ли целесообразно.

На пленарной части конференции прозвучало немало других интереснейших докладов. Так, о развитии САПР электроники рассказал **директор по развитию бизнеса компании Cadence Design Systems Россия Анатолий Анатольевич Иванов**. Особенности верификации систем на кристалле посвятил свой доклад **начальник лаборатории верификации систем на кристалле и СФ-блоков НПЦ "ЭЛВИС" к.т.н. Федор Михайлович Путря**. Об основных направлениях развития нормативной базы создания и применения ЭКБ в современных условиях доложил **первый заместитель директора ФГУП "МНИИРИП", д.т.н., профессор Вячеслав Михайлович Исаев**. О возможностях сотрудничества с крупным контрактным производителем СБИС – китайской компанией HN Grace (Shanghai Huahong Grace Semiconductor Manufacturing Corporation) – рассказал **Илья Владимирович Цай, директор компании HiSpace Silicon Semiconductors Group**, которая является представителем HN Grace в России и странах СНГ. Отметим, что компания HN Grace со штаб-квартирой в Шанхае располагает тремя фабриками обработки 200-мм пластин с общей производительностью свыше 132 тыс. пластин в месяц. Большой интерес вызвал доклад **президента конференции, академика РАН Геннадия Яковлевича Красникова** об основных тенденциях развития микро- и нанотехнологий.

Немало интереснейших выступлений прозвучало и на секциях. Отметим доклад о разработке методов схемотехнического моделирования радиотехнических интегральных схем с нанометровыми проектными нормами заведующего отделом проблем автоматизации проектирования Института проблем проектирования в микроэлектронике РАН, член-корреспондента РАН Сергея Григорьевича Русакова. Безусловно, был достоин пленарной части конференции доклад начальника отделения ОАО "НИЦЭВТ" Алексея Сергеевича Симонова "Коммуникационная сеть ЕС8430 "Ангара" для высокопроизводительных вычислительных систем и суперкомпьютеров", посвященный уникальной отечественной разработке. Очень интересным был доклад профессора МИЭТ Валерия Петровича Тимошенко о перспективах развития SiGe-технологий.

Все выступления невозможно даже перечислить. Но это и не входит в задачу журнальной публикации – в работе конференции стоит участвовать, а не читать о ней. Приведем лишь оценку конференции от ее организаторов – руководителей секций.

**Юрий Викторович Завалин, секция "Полузаказные СБИС, аналоговые и аналого-цифровые микросхемы, микропроцессоры, микроконтроллеры и системы на кристалле".**



Возрождая конференцию через столько лет, мы немного опасались, но, как оказалось, совершенно напрасно. Мне

повезло возглавлять секцию – я даже не ожидал, насколько она окажется интересной. 30 докладов за два дня, и практически каждый из них вызывал живое обсуждение, которое затем продолжалось в кулуарах в неформальном обсуждении. Особо



отмечу – очень много молодежи, с очень хорошими идеями.

Секция охватила весь комплекс проблем дизайна СБИС-микропроцессоров, микроконтроллеров, СМК, аналоговых схем. Прозвучали замечательные доклады по операционным усилителям, по источникам питания. Очень хорошо, что полузаказные СБИС были представлены в полном спектре: и ПЛИС, и БМК, и новые полузаказные системы на кристалле, и аналого-цифровые схемы. Я очень доволен, что об этом услышали многие потребители, как оказалось, впервые.

Конференция была очень полезной, поскольку собрала людей, которым трудно встретиться – работают в разных местах, очень заняты. А встречаться необходимо. Поэтому такое информационное пространство нужно развивать.

**Николай Алексеевич Шелепин, секция "Материалы микро- и нанoeлектроники. Технология и элементная база современных СБИС и электронных модулей".**



Очень рад, что в России начала работать конференция по интегральным схемам. У нас были конференции про все – про нанoeлектронику, про микросистемную технику, а вот про микросхемы – нет. И чтобы формат у конференции был именно таким, я лично приложил немало усилий. Мы решили организовать встречу всех, кто связан с полным циклом интегральной микroeлектроники – от постановки технологий до применения. Это вполне удалось и оправдало ожидания.

На секции заслушано 14 докладов. В основном они были представлены сотрудниками АО "НИИМЭ" и ОАО "НИИМЭ и Микрон" – эти компании делегировали на конференцию плеяду молодых специалистов,

которые не более трех лет назад окончили университет – либо МИЭТ, либо МФТИ. И эти специалисты занимаются именно разработкой технологий. Также были представлены доклады двух профессоров МИЭТ и сотрудников ряда других организаций. Участники, в том числе профессора МИЭТ, отметили достаточно высокий уровень научной проработки докладов. Так, про два доклада молодых специалистов АО "НИИМЭ" было сказано, что каждый из них можно считать на половину выполненной диссертационной работой. Это доклады "Тримминг фоторезистивной маски в технологии 90 нм для формирования 65 нм затвора" Татьяны Буряковой и "Исследование повреждений low-k-диэлектриков при криогенном травлении" Аскара Резванова.

В целом, конференция удалась, и конечно, она будет иметь развитие.

**Сергей Петрович Тимошенко, секция "Микросистемы на основе технологий микroeлектроники".**



Микросистемная техника является очень важной сферой приложения интеллекта и включает множество технологий. Это и кристалльное производство, и задачи изготовления микромеханики, оптики, и трехмерное моделирование, и трехмерная сборка, и САПР. Поэтому секция, с одной стороны, фантастически интересна, с другой – достаточно сложна и разнообразна. В поле ее деятельности находятся и вопросы новых объемных технологий, и проблемы испытаний, и новые конструкции различных активных элементов, например, датчиков физических величин, и создание новых конструктивных и конструктивно-технологических подходов. Конечно, такую секцию необходимо развивать, причем именно в рамках конференции, посвященной



микроэлектронике. Ведь это направление аккумулирует в себе лучшие и очень важные достижения других областей микроэлектроники.

У меня осталось очень приятное впечатление от работы секции. Я удовлетворен и уровнем докладов, и их тематикой. Были представлены доклады по инерциальным системам, по 3D-сборке, по интеграции элементов МЭМС и оптики, элементов микромеханики и оптоэлектроники. Рассматривались задачи, связанные с анемометрическими принципами измерения параметров потоков газов и жидкостей, были доклады по различным материалам и технологиям – не только по традиционному кремнию или SiGe, но и по различным сегнетоэлектрическим материалам и конструкторско-технологическим приемам работы с ними. Обсуждались различные способы микросборки, включая внутренний монтаж, монтаж встроенных бескорпусных элементов. Было очень интересно.

Конечно, на конференции было представлено некое ограниченное множество возможных решений в области микросистемной техники. Но это говорит лишь о том, что тематику секции нужно развивать на последующих конференциях. Например, за счет таких направлений, как микрофлюидика, вопросы проектирования, датчики физических величин. Важно направление оптико-микромеханических систем, которое находится на стыке интегральной оптики, микромеханики и микроэлектроники. Причем в нашей стране есть специалисты и научные центры, которые занимаются этими направлениями. Конечно, по ряду направлений, например по проекционным матричным зеркалам, нам нужно учиться и развиваться. Но по многим другим вопросам наш уровень достаточно хорошо представлен.

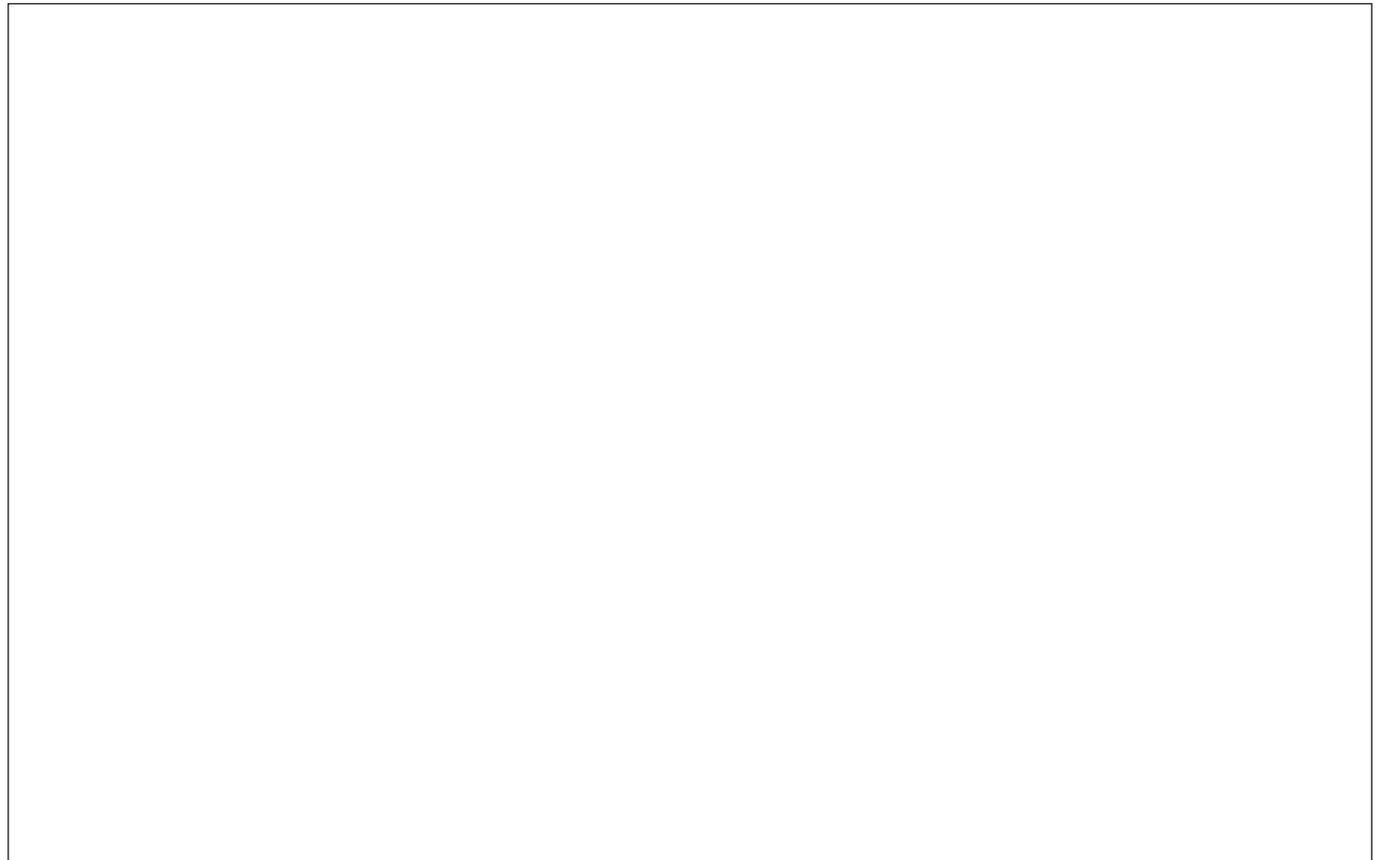
В целом, микросистемотехника – это непочтый край фантазии и возможностей. Ее важно обсуждать на конференции. Но самое главное затем двигаться дальше – и с разработчиками, и с промышленностью.

**Игорь Леонидович Корнеев, секция "Навигационно-связные СБИС и модули".**

Мое мнение о конференции совпадает с мнением коллег – все отмечают, что ее уровень не просто очень высокий, он оказался выше ожидаемого. Наверное, дело в том, что такая конференция давно не проводилась, накопились определенные результаты. Причем здесь обсуждались даже не столько достигнутые результаты, сколько направления развития.

Если говорить про нашу секцию, то в ее работе участвовали специалисты разных предприятий, образовавших высокопрофессиональную команду. Разговор шел на уровне специалистов, обсуждали детали, что случается не часто. Времени на дискуссии хватило. В будущем стоит расширить спектр рассматриваемых вопросов в направлении систем связи. В этом году не случайно был сделан упор на навигацию, поскольку здесь достигнуты хорошие результаты. В области массовой аппаратуры связи аналогичных результатов нет. Но они должны появиться, или хотя бы необходимо сформулировать проблемы. В нашей секции участвовали представители концерна "Созвездие", но в дальнейшем к работе секции и конференции в целом нужно гораздо шире привлекать российские предприятия, которые занимаются вопросами связи, в частности – массовой связи. Это было бы хорошим шагом вперед. Сегодня отрасли нужна поддержка рынка. Поэтому и важно расширение состава участников с упором на массовые рынки, и прежде всего на рынки связи. В свое время мы все отдали это направление на откуп зарубежным производителям, хотя специалисты у нас были и есть.







**Член-корр. РАН Сергей Григорьевич Русаков, секция "Методы и алгоритмы САПР СБИС".**

Секция прошла организовано, с большим интересом. Состоялись все заявленные по программе доклады. Их можно условно разделить на три направления, которые сегодня актуальны и представляют практический и научный интерес. Одно направление – моделирование радиотехнических схем на транзисторном уровне, то есть в рамках систем автоматизации схемотехнического моделирования. Второе направление – разработка специализированного программного обеспечения для САПР БМК. И наконец, направление приборно-технологического моделирования, которое востребовано современными технологиями с нанометровыми проектными нормами. Ему был посвящен ряд интересных докладов, в частности, доклад В.В.Макарчука (МВТУ). В нем рассматривались не просто вопросы моделирования, а оптимизация процессов ретроградного легирования кармана КНИ МОП-транзистора. Не меньший интерес вызвал и доклад по приборно-технологическому моделированию при проектировании фоточувствительных ПЗС и КМОП-фотодиодных СБИС (А.А.Пугачёв, НПП "Пульсар").

Особо отмечу аналитический доклад на весьма актуальную тему "Моделирование элементов СБИС с учетом радиационных эффектов" профессора МИЭМ НИУ ВШЭ Константина Орестовича Петросянца. Он является известным специалистом в этой области. На следующей конференции подобный доклад целесообразно представить и в пленарной части. Кроме того, по инициативе А.Н.Денисова была сделана презентация и продемонстрирована

в практической работе система "Ковчег", что привлекло широкое внимание. Многие участники конференции выразили сожаление, что они не смогли присутствовать на этой презентации, как и на других докладах, поскольку были заняты на других секциях. Можно предположить, что если бы на конференции было не восемь, а три-четыре секционных потока, нашу секцию посетило бы в разы больше специалистов, поскольку интерес к САПР всегда велик.

**Алексей Леонидович Переверзев, секция "Бортовые информационно-управляющие системы".**



Наша секция собрала разработчиков аппаратуры, которые должны были не только поделиться своим опытом, но и поднять проблемы, с которыми они сталкиваются в ходе применения отечественной ЭКБ. И в этом плане

секция удалась. Хотя изначально были сомнения – есть ли смысл в такой встрече, мы ведь и так хорошо знакомы? Но уже в первый день, после двух-трех докладов, стало понятно, что собираться, безусловно, стоило.

Были очень живые дискуссии специалистов различных предприятий. На нашей секции присутствовали представители МИЭТ, "Субмикрон", НТЦ "Модуль", Концерна "Вега", НИИИС им. Ю.Е.Седакова и ряда других компаний. И каждое выступление вызывало бурное обсуждение. Проблемы ведь у всех одни и те же – это и радиационная стойкость, и повышенная надежность, и миниатюризация. Но решают эти проблемы все немного по-разному. Поэтому очень хорошо, что на секции присутствовали ведущие разработчики и производители микропроцессорной техники (например, компании "ЭЛВИС"), они предлагали



свои решения. С другой стороны, удалось обозначить те проблемы, с которыми мы сталкиваемся при использовании их ЭКБ.

Правильность решения – пригласить разработчиков аппаратуры на конференцию по микроэлектронике – была заметна и по атмосфере. Многие узнавали что-то новое, специалисты посещали другие секции, общались в рамках круглых столов, в кулуарах. Познакомились со многими представителями других предприятий, о которых раньше только слышали, общались заочно. Такая конференция – это возможность узнать о перспективных разработках, получить новую информацию. Кроме того, она позволила в целом посмотреть на то, что происходит в отрасли. На конференции, по сути, впервые удалось комплексно взглянуть на общую проблему. Это не только интересно, но и полезно – становится понятно, как нашему предприятию вести себя, чтобы добиться желаемого результата.

Единственная проблема – работа по секциям не позволила многим специалистам по элементной базе погрузиться в проблемы "аппаратурщиков". Возможно, на следующей конференции этой теме стоит посвятить круглый стол для обсуждения общих проблем.

**Владимир Борисович Стешенко, секция "Интегральные схемы для аппаратуры космического назначения".**

Отрадно, что, несмотря на сжатые сроки организации, получилось хорошо. На конференции отражены все крупные направления, связанные с микроэлектроникой, выступили многие ключевые специалисты. Я был приятно удивлен, увидев, сколько разных специалистов работают по секциям. Такое редко бывает. Обычно послушали



пленарные доклады и все основные докладчики разошлись. Здесь же все дни шла живая работа, несмотря на то, что конференция проходила в Крыму и стояла прекрасная погода.

Если говорить про нашу секцию, то удалось построить ее работу именно так, как хотелось. Ведь у нас, если взять любую конференцию, в том числе в области космической электроники, все разделены: отдельно – группа испытателей, отдельно – прибористы, отдельно – снабженцы. В результате на таких конференциях рождается, по сути, рекламная продукция, типа "давайте микросхемы фирмы А поставим в аппарат предприятия Б", что угнетает. Здесь мы устроили живую дискуссию, испытатели сказали нам всю свою правду, прибористы в ответ – свою. Выступили практически все разработчики элементной базы. Жаль лишь, что именно на нашей секции не было выступлений от компании "ЭЛВИС", а ведь докладов по их концепции "Мультиборт" ждали многие. Это реально хороший, нужный продукт, и на конференции хотелось бы обсудить пути его развития. Очень порадовало, что в работе секции участвовали многие молодые специалисты – глаза горят, умные вопросы задают и даже умные слова говорить умеют.

Конечно, конференция не панацея для решения проблем отрасли. Какое бы великое решение не было принято, в какой бы высокий кабинет его не положили, – это всего лишь мнение. На него можно и нужно ссылаться. Но самое главное, конференция – это место для общения. Здесь в неформальной обстановке многие могут друг другу сказать многое, чего никогда не скажут с трибун. Это позволяет лучше понять коллег, правильно поставить вопросы и т.д. А ведь взаимопонимание – очень важный вопрос. У нас мало специалистов в элементной базе, которые понимают в приборостроении. Аналогично, не все прибористы и системщики понимают проблемы создания элементной базы. Конференция если и не решает эту проблему, то, по крайней мере, помогает услышать друг друга.



Конференция закончилась, но остается вопрос "Что дальше?". С ним мы обратились к одному из ключевых организаторов этого форума микроэлектроники, **временному генеральному директору АО "НИИМА "Прогресс" Василию Викторовичу Шпаку.**



### **Василий Викторович, конференция оправдала ожидания организаторов?**

В целом все получилось, как планировали. Но вопрос в том, что прошедшее мероприятие дало богатую пищу для размышлений. Мы – и оргкомитет, и сами участники – уже сегодня видим необходимость дальнейшего движения вперед и определенных совместных действий.

Ведь только конференцией ("собрались – поговорили") проблем не решить.

Есть понимание, что нам нужна постоянно действующая площадка, именно на экспертном уровне, пусть и не слишком формальном. Нужно место, где могли бы встречаться разработчики элементной базы, аппаратуры, технологий, программного обеспечения, САПР и т.п. Это важно и потому, что необходимо вырабатывать общий язык, общую платформу для взаимодействия. По большому счету, у всех есть ясное понимание, что спасение утопающих – дело рук самих утопающих. Куда двигаться, какие у нас возможности и перспективы – тоже понятно. Не все у нас так плохо и грустно, как может показаться. Но для этого нам нужна четкая координация действий внутри всей отрасли, а не только среди разработчиков ЭКБ. Поэтому здесь мы собрали представителей не только различных направлений микроэлектроники, но и разных отраслей.

Основная проблема в том, что каждый сидит в своем уголке. Необходимо переходить к некоей общенациональной стратегии развития, в том числе и для защиты собственного рынка, и для формирования облика продукта микроэлектронной отрасли для экспортной деятельности.

В мире много перспективных рынков, и на фоне достаточно сложной политической ситуации, когда все пытаются себя защитить, обстановка как раз благоприятна для нашей экспортной деятельности. Есть традиционные партнеры, появляются и новые. Кто-то испытывает аналогичные нашим санкционные проблемы, у них есть реальная потребность, а главное – необходимые ресурсы.

### **Это значит, что конференция не последняя?**

Однозначно нет. Более того, мы используем лояльность наших участников, чтобы привлекать их к другим мероприятиям – пусть менее масштабным, более узкоспециальным. Обязательно нужно работать с той аудиторией, которую удалось собрать, и привлекать других заинтересованных специалистов. Просто потому, что иного пути нет, нам это необходимо.

Конечно, формат конференции будет развиваться. Мы уже сейчас видим, что недостаточно продумали формы коммуникаций внутри конференции. На следующий год гораздо больше внимания уделим стендовым докладам – это позволит показать много информации, привлечь гораздо больше молодых специалистов. Наверное, нужно организовывать больше пленарных мероприятий, круглых столов. Ведь все доклады секций посетить невозможно, а на круглые столы могут придти все. Люди же едут прежде всего за общением.

Мы будем стремиться расширять географию участников, в том числе – иностранных партнеров. В этом году конференцию посетили представители Беларуси, Китая. Видно, что интерес к конференции есть, ее нужно развивать и делать это на хорошем уровне, тогда появится возможность привлекать инвесторов, делать ярмарку стартапов, приглашать венчурные компании и т.п.

Прошедшая конференция – это только первый шаг, причем в правильную сторону. И теперь нужно не останавливаться, а делать второй, третий и все последующие шаги. Поэтому сейчас мы испытываем, с одной стороны, чувство облегчения от того, что все задуманное удалось реализовать. И вместе с тем мы чувствуем озабоченность, поскольку теперь главное – не останавливаться. ●



