

Нитридная мощная СВЧ-электроника в России: наука перехода от технологии к бизнесу

Д. Красовицкий, к. х. н.¹, А. Филаретов, к. ф. - м. н.², В. Чалый, к. ф. - м. н.³

УДК 621.37 | ВАК 2.2.2

Для внедрения в массовое производство отечественных разработок мощной СВЧ ЭКБ на основе нитрида галлия требуются полномасштабные, ресурсоемкие действия по переформатированию и стандартизации парадигмы разработки, постановке системы испытаний и выходного контроля, не имеющей аналогов в отечественной практике.

Актуальность вывода на производственный уровень отечественных перспективных разработок электронной компонентной базы (ЭКБ) на основе широкозонных полупроводников группы GaN стала настолько привычной в последние несколько лет, что превратилась в долгоиграющую рутину [1]. В большинстве случаев, успешная реализация российскими производителями тех или иных опытных образцов нитридных изделий [2] опиралась на кристаллы транзисторов или монокристаллические интегральные схемы (МИС) импортного производства. Собственные же технологические разработки отечественных компаний, равно как и построение кооперационных цепочек между ними, продвигаются с трудом, несмотря на, казалось бы, неослабевающий интерес государственных структур к развитию тематики. В преддверии обнародования обновленной концепции госполитики по развитию российской микроэлектроники до 2030 года [3] попробуем еще раз определить достигнутый в России уровень и выделить основные проблемы и вызовы, стоящие перед отечественными разработчиками мощной СВЧ ЭКБ на основе GaN в условиях беспрецедентного нарастания санкционного давления на отрасль.

УСЛОВИЯ ИЗМЕНИЛИСЬ СИЛЬНО. А СИТУАЦИЯ – СЛАБО

В предыдущей, уже **двухгодичной давности**, публикации [1] были сформулированы основные, на наш взгляд, положения, реализация которых позволила бы качественно изменить эффективность «нитридных» НИОКР и скорость внедрения их результатов. Основной идеей было

смещение акцента государственной поддержки с разработок конкретных образцов ЭКБ в сторону разработки и квалификации стандартных технологий ее проектирования и производства. Такие технологии отличаются тем, что **методологически приспособлены** к решению проблем надежности разрабатываемой элементной базы, в особенности – мощной, основанной на широкозонных полупроводниках группы GaN:

- параметры надежности должны быть установлены применительно к стандартным элементам (*building blocks* в терминах стандартов США) и их библиотекам, как неотъемлемой части стандартных технологий. Это даст возможность строить поведенческие модели, дающие разработчикам РЭА инструмент прогнозирования параметров надежности на всех уровнях системной архитектуры;
- «правильный подход» к построению системы определения надежности стандартных элементов должен базироваться на понимании физической природы отказов (механизмов деградации) и требует целенаправленного и серьезного изучения этих механизмов;
- методики испытаний параметров надежности стандартных элементов должны быть **разработаны** с учетом этих механизмов и **стандартизованы**, в том числе – методики испытаний наработки под СВЧ-нагрузкой. Параметры надежности изделий ЭКБ, спроектированных и произведенных на основе стандартных элементов с установленным уровнем надежности, должны оцениваться при помощи поведенческих моделей и, при необходимости, подтверждаться испытаниями в составе аппаратуры.

С указанными положениями вроде бы никто не спорил, более того – на разных уровнях госструктур уже не первый год «варятся» программы и «дорожные карты», в названиях мероприятий которых можно встретить ставшие знакомыми термины. Однако, насколько известно

¹ АО «Светлана-Рост» (Санкт-Петербург), проектный офис, ведущий инженер, d.krasovitskij@svrost.ru.

² АО «Светлана-Рост» (Санкт-Петербург), заместитель генерального директора по развитию, a.filaretov@svrost.ru.

³ АО «Светлана-Рост» (Санкт-Петербург), генеральный директор, v.chaly@svrost.ru.

авторам, на сегодняшний день запущен (менее года назад) лишь один проект, направленный на разработку и внедрение технологии нитридной ЭКБ в одном из узких СВЧ-диапазонов. Включает ли календарный план этого проекта решение упомянутых выше проблем надежности на новом методологическом уровне, ведет ли техническое задание к разработке именно стандартной технологии – остается только гадать. При этом предложения по разработке стандартных технологий в других, не менее востребованных, частотных диапазонах по-прежнему остаются не реализованными.

В ожидании масштабных изменений в отношении руководства отрасли к «нитридной» проблеме, авторы, тем не менее, продолжают работать. АО «Светлана-Рост» к началу 2021 года на опытных образцах СВЧ-транзисторов с затвором длиной 0,5 мкм удалось воспроизводимо выйти на уровень наработки на отказ более 10^5 ч, что соответствует целям второй фазы программы WBGs DARPA [4] (завершенной в 2009 году!) и позволило начать первые коммерческие поставки разработанных кристаллов транзисторов (рис. 1) отечественным потребителям. Транзисторы SVC902 и SVC903 уже показали неплохой потенциал и за последний год отечественными разработчиками на их основе получены результаты (табл. 1, рис. 2а и 3), позволяющие начинать проектирование ЭКБ, отработку сопутствующих технологий монтажа, корпусирования и т. д. Круг заинтересованных предприятий расширяется, и мы надеемся, что в ближайшее время сможем начать (или возобновить) сотрудничество с теми из них, кто ранее (совершенно экономически обоснованно!) работал с зарубежными поставщиками. На ближайшие несколько лет мы оцениваем внутренний рынок нитридных транзисторных кристаллов с рабочими частотами до 8 ГГц в 130–150 тыс. штук в год, что по общемировым меркам совсем немного и, вроде бы, даже **не требует** кардинальной интенсификации разработок? Разумеется, нет. Иначе наши потребители при первой же возможности снова «сбегут на готовенькое», то есть на зарубежные (скорее всего, азиатские) рынки.

Достигнутые к настоящему моменту результаты являются необходимыми, но совершенно недостаточными для того, чтобы рапортовать о решении даже части проблемы. Разработанные базовые кристаллы (или «ячейки усиления») смогут стать полноценными элементами

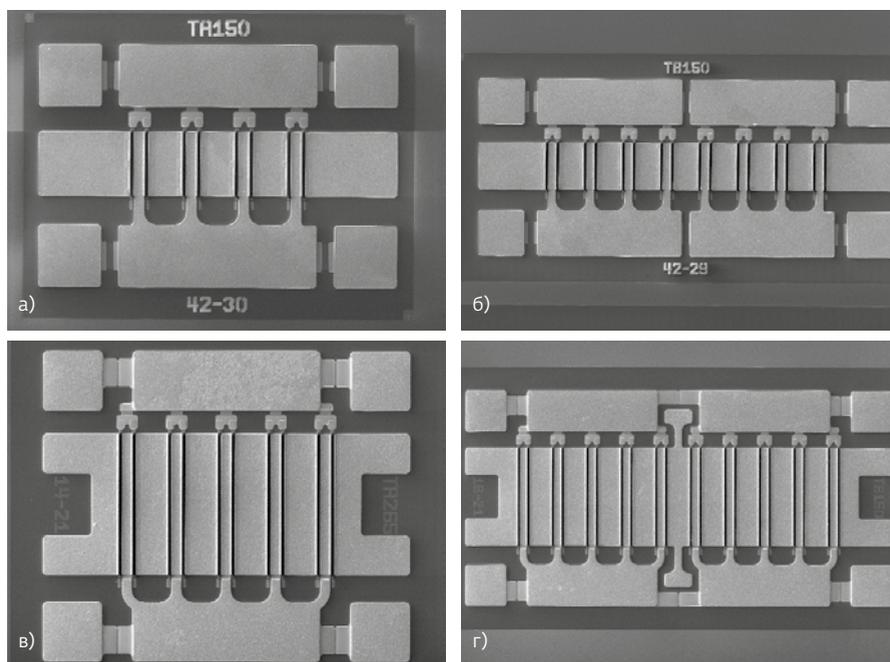


Рис. 1. Базовые ячейки мультипликации мощных GaN-транзисторов S- и C-диапазонов производства АО «Светлана-Рост». Суммарная периферия затворов: а – 1200 мкм (8×150); б – 2400 мкм (16×150); в – 3500 мкм (10×350); г – 7000 мкм (20×350)

библиотек лишь тогда, когда будут разработаны их поведенческие модели, позволяющие вести расчет схем согласования и суммирования мощности общедоступными средствами проектирования. Не говоря уже о более «высокочастотных» стандартных технологиях, в которых разработка активных элементов (транзисторов) еще не дошла до минимально необходимого уровня безотказности, позволяющего двигаться дальше.

Допуская как желаемое, что основанная на методологическом решении проблемы надежности парадигма

Таблица 1. Суммирование мощности кристаллов СВЧ-транзисторов SVC0903 (публикуется с разрешения АО «НПП «Пульсар»)

Ширина затвора, мм	$U_{\text{раб}}$, В	$P_{\text{вх}}$, Вт	$P_{\text{вых}}$, Вт
7 мм	40	2,5	32
	45	3,0	37
	50	3,0	41
2×7 мм	40	5,0	63
	45	5,5	71
	50	6,0	77

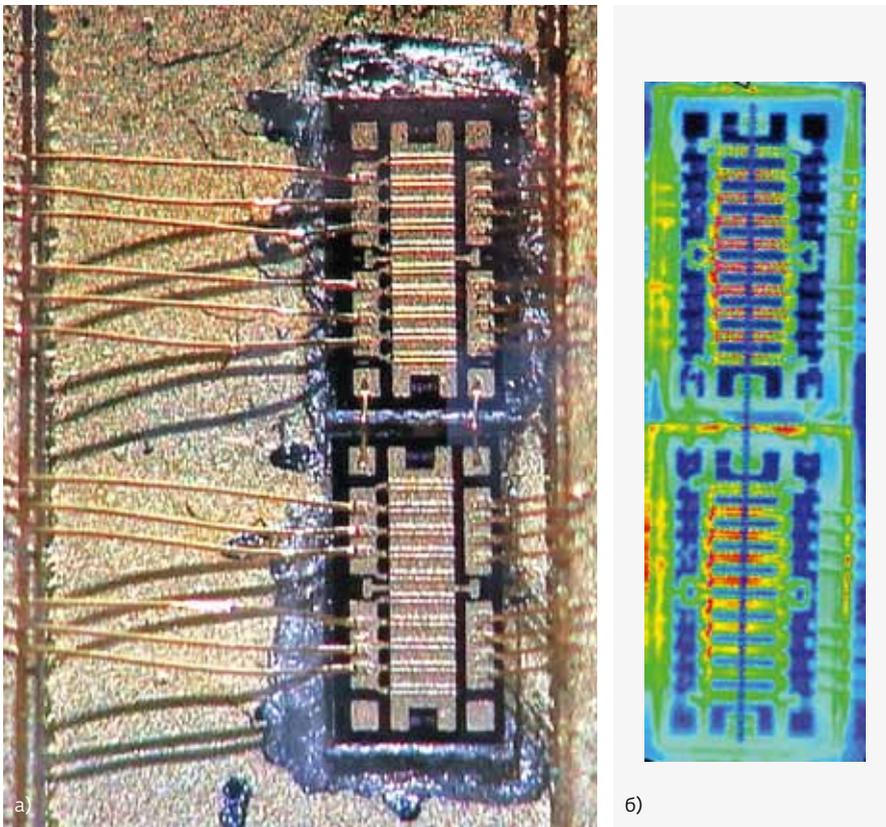


Рис. 2. Пример суммирования мощности двух GaN-транзисторов SVC903 с шириной затвора 7 мм на теплоотводящей плате (а) и полученной при этом неравномерности распределения температур поверхности рабочей области (б). Выходная импульсная мощность 70 Вт ($U_{\text{раб}}=45$ В, $f=2,7\text{--}2,9$ ГГц; $\tau_1=300$ мкс; $Q=10$). (Снимки публикуются с разрешения АО «НПП «Пульсар» (г. Москва))

разработки нитридных технологий все же будет поддержана не только на словах, перечислим основные аспекты ее реализации. Особенность парадигмы состоит в том, что следовать ей можно только **комплексно**: ни один из перечисленных далее аспектов не может быть обособлен, а значит – не может быть ни реализован в отрыве от прочих, ни изъят из парадигмы. По этой же причине затруднительно ранжировать аспекты по степени важности, и мы рассмотрим их в порядке перечисления.

ПРИОРИТЕТ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЙ

На эту тему сказано и написано, пожалуй, уже все, что можно. Совсем недавно наши рассуждения на эту тему довольно наглядно иллюстрировали [5] тезис о неравенстве отечественных производителей ЭКБ перед зарубежными: стандартные технологии разрабатывать долго (на самом деле – нет: цикл разработки технологии, в том числе комплексного инструмента проектирования (PDK), по времени сравним со «стандартным циклом» НИОКР по разработке отдельного изделия ЭКБ или КИМП) и дорого, гораздо проще и дешевле разработать

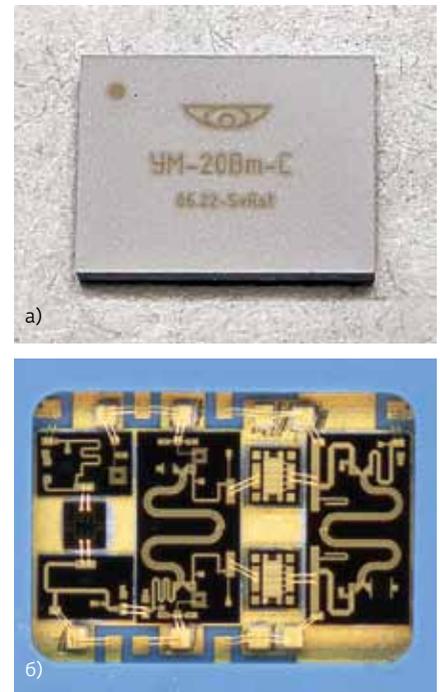


Рис. 3. Пример построения усилителя мощности С-диапазона на двух GaN-транзисторах SVC902 с шириной затвора 3,5 мм в LTCC-корпусе. Выходная мощность не менее 20 Вт ($U_{\text{раб}}=40$ В, $f=4\text{--}7$ ГГц; $K_{\text{п}}=40\text{--}44$ дБ). (Снимки публикуются с разрешения АО «НИИПП» (г. Томск))

(используя готовый PDK) и изготовить необходимые компоненты на зарубежных фабриках – *foundry*. Но почему же сейчас, когда, казалось бы, «несчастье помогло» отказаться от импорта и направить усилия на развитие отечественной микроэлектроники, финансирование разработки стандартных технологий **снова нужно** обосновывать? Предельно кратко повторим основные аргументы в их защиту:

- конкурентные параметры перспективных систем РЭА могут быть достигнуты только путем применения специализированной высоконадежной ЭКБ;
- качество (в том числе надежность) специализированной ЭКБ может поддерживаться только при производстве, использующем аттестованные технологические процессы со встроенными средствами мониторинга и управления качеством;
- конкурентоспособная (в том числе, по стоимости и срокам изготовления) специализированная ЭКБ может изготавливаться только при массовом (выраженном в количестве пластин выпускаемых по одному технологическому процессу) производстве;

- любая тиражность (вплоть до единичного исполнения) специализированной ЭКБ (при сохранении параметров качества, цены и сроков изготовления) может быть достигнута только при ее изготовлении по методу *foundry*, основанному на стандартных технологиях;
- после завершения цикла разработки стандартной технологии (в который входят и всеобъемлющие испытания библиотек стандартных элементов) затрат на ее внедрение не требуется, а затраты на проектирование и изготовление специализированной ЭКБ минимизированы и ложатся на потребителя, оплачивающего, по сути, лишь услуги дизайнера и изготовление фабрикой-*foundry* конкретной, принадлежащей этому потребителю, пластины с его изделиями.

Вывод из сказанного очевиден – государственное финансирование разработки конкретных изделий ЭКБ необходимо немедленно прекратить, сосредоточив ресурсы на разработке стандартных технологий отечественными фабриками.

УРОВЕНЬ НАДЕЖНОСТИ КАК АТРИБУТ ТЕХНОЛОГИИ

Ранее [1, 5] подробно рассматривалась общепринятая за рубежом концепция трехкомпонентного обеспечения надежности ЭКБ в течение ее жизненного цикла, подверженной влиянию нескольких факторов, в том числе:

- факторов, определяемых технологией изготовления (дефекты, ведущие к катастрофическим отказам на ранних стадиях работы, физический износ материала в ходе эксплуатации, деградация функциональных параметров вследствие особенностей электрофизических свойств материала и т. д.);
- факторов, определяемых конструкцией изделия (схемотехнические решения, взаимное расположение функциональных блоков в топологической схеме, меры защиты в различных вариантах применения ЭКБ и т. д.);
- факторов, определяемых эксплуатацией (жесткие режимы включения, повышенные температуры эксплуатации изделий и недостаточный теплоотвод и т. д.).

Перечисленные факторы должны быть адекватно определены и иерархически взаимосвязаны: понятно, что разрабатывать схемотехнику и меры защиты изделий ЭКБ, не решив, например, проблему ранних отказов – совершенно бессмысленно. Использование стандартных технологий, снабженных комплексными инструментами проектирования, помогает оптимизировать ресурсы, затрачиваемые на обеспечение надежности, определяемой технологией. Но – лишь при одном условии: параметры безотказности элементов библиотек должны

быть экспериментально установлены в ходе определенных испытаний по методикам, учитывающим физические механизмы деградации. По сути, речь идет о построении надежных моделей библиотек стандартных элементов.

Многokrратно показано, в том числе в исследованиях надежности ЭКБ космического применения [7], что механизмы деградации полевых транзисторов на основе GaN:

- разнообразны и зачастую отличаются от механизмов в ранее известных полупроводниковых материалах;
- в ряде случаев «работают» разнонаправленно, а иногда и аддитивно;
- зависят от режима эксплуатации (в разных режимах могут проявляться различные механизмы).

Поэтому построение системы испытаний библиотек, основанной на экспериментально определенных показателях безотказности, является отдельной и очень непростой проблемой. Она включает в себя как минимум:

- разработку методик, направленных на выявление различных механизмов деградации и влияние на них технологических воздействий;
- разработку испытательных стендов и измерительного оборудования, учитывающих требования к особым условиям эксплуатации нитридной ЭКБ (например, отдельной проблемой остается определение реальной температуры канала транзистора и внутренних топологических интерфейсов);
- разработку программ и методик испытаний безотказности как элементов библиотек, так и их схемных комбинаций (типовых схем), в том числе ускоренных, основанных на установленных экспериментально механизмах деградации.

Следует отметить, что проблема испытательного оборудования и оснастки, помимо методологической, содержит и значительную ресурсную составляющую, особенно в условиях обострившихся санкционных ограничений. На рис. 4 показаны блок-схема и действующий прототип четырехканального стенда для отработки методик определения параметров безотказности нитридных СВЧ-транзисторов средней мощности с рабочими частотами до 6 ГГц, разработанных в АО «Светлана – Рост». Цена комплектующих для одного измерительного канала составляла более полутора миллионов рублей в ценах 2020 года. Нетрудно представить, во сколько обойдется построение лаборатории (измерительного участка) для фабрики, ведущей выпуск даже указанных выше сравнительно небольших количеств СВЧ-транзисторов или отрабатывающей параметры надежности библиотеки элементов в рамках разработки и верификации стандартной технологии (на практике, подходы к масштабам верификации технологий несколько

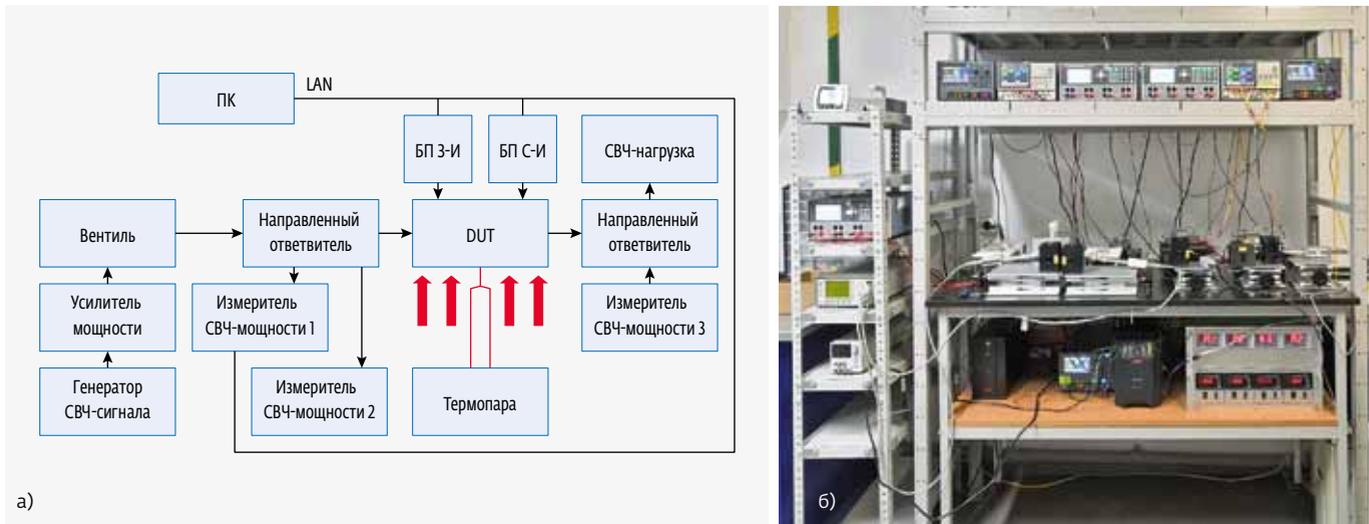


Рис. 4. Блок-схема (а) и действующий прототип (б) стенда для отладки методик определения параметров безотказности мощных GaN-транзисторов под СВЧ-нагрузкой

отличаются у разных зарубежных фабрик, однако, речь может идти как минимум о десятках (а то и сотнях) технологических пластин). Кроме стандартного измерительного оборудования, привлекаемого (пусть и не всегда в стандартных комбинациях) для постановки методик определения и отработки безотказности стандартных элементов, требуется и разработка специфической оснастки (рис. 5), позволяющей устанавливать различные варианты кристаллов и подвергать их воздействиям окружающей среды.

Сводные данные о безотказности базовых 3,5-мм нитридных СВЧ-транзисторов, изготовленных АО «Светлана-Рост» по технологическому процессу с проектной нормой 0,5 мкм, в зависимости от питающего напряжения

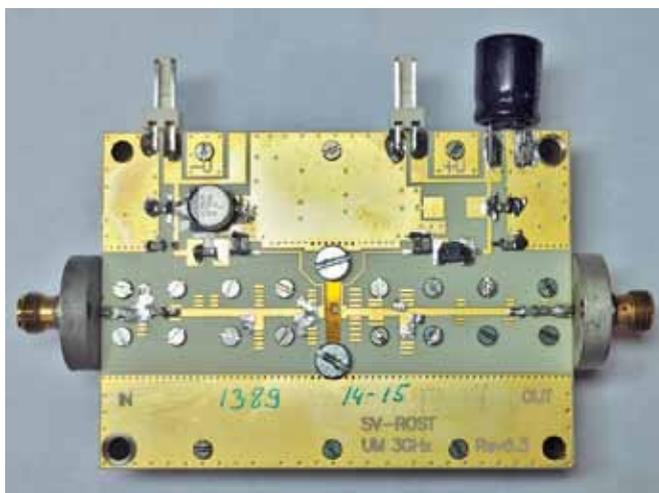


Рис. 5. Плата согласования для испытаний наработки на отказ мощного GaN-транзистора под СВЧ-нагрузкой

и температуры корпуса (окружающей среды) представлены на рис. 6. Во всех исследованных режимах деградации мощности не наблюдается на промежутке в 1000 ч. Можно ли говорить, что разработка процесса с точки зрения безотказности завершена? Насколько корректны оценки наработки на отказ по результатам испытаний при увеличенной температуре корпуса (а для нитридной ЭКБ показана работоспособность при температурах канала транзистора до нескольких сотен градусов Цельсия)? Для ответа на эти и многие другие вопросы придется решать еще одну, комплексную и болезненную, проблему.

ПРОБЛЕМА СТАНДАРТИЗАЦИИ

Повторимся: важнейшим тезисом, направленным на корректное использование полученных в ходе исследования данных о механизмах деградации, разработанных методик испытаний и стендов для их проведения, надежных моделей стандартных элементов на основе GaN является их стандартизация на новом качественном уровне. В обновлении нуждается не просто перечень значений параметров в одном или нескольких справочниках – должны быть пересмотрены сами подходы к обеспечению надежности ЭКБ, начиная с терминов и определений. Элементы библиотек (*building blocks* в терминах международных стандартов [8], например JEPI18A) должны сохранять свои характеристики на всех уровнях системной архитектуры, что дает основания распространить их на изделия, проектируемые при помощи библиотек. Выполнение требований надежности к изделиям РЭА должны обеспечиваться надлежащей квалификацией технологического производства («категорией качества», аналогичной зарубежным *Industrial, Military, Space*), имеющих в своем составе инструменты проектирования. Спроектированные

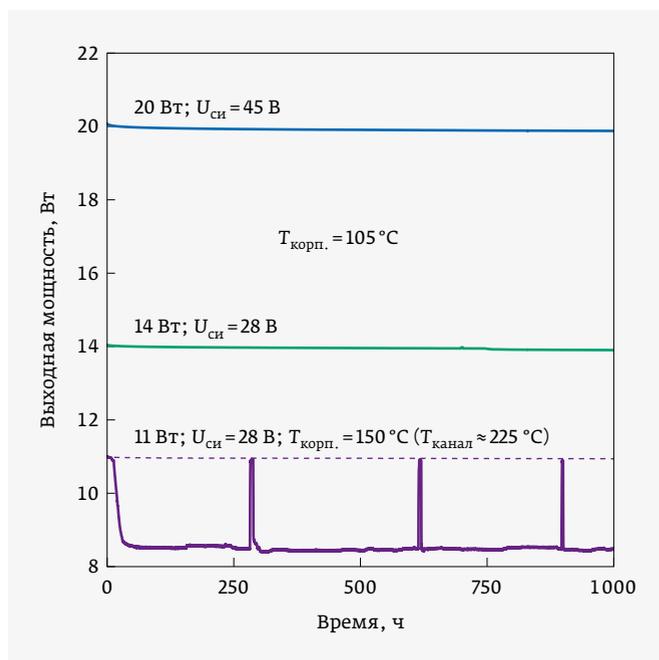


Рис. 6. Предварительные результаты применения разработки методики испытаний безотказности мощных GaN-транзисторов ($Wg = 3500$ мкм, $f = 3$ ГГц) под СВЧ-нагрузкой при повышенных температурах

и производимые при помощи таких технологий изделия в части параметров надежности должны соответствовать этим категориям **автоматически** (*technology defined reliability*).

Сложность реализации этого тезиса заключается в том, что все перечисленные объекты, подлежащие стандартизации, являются составляющими парадигмы, которая сама по себе до сих пор не нашла себе места в отечественной нормативной базе. В недавней публикации [9] мы детально показали, что отечественные производители СВЧ ЭКБ вынуждены вести разработку, либо руководствуясь устаревшей и недостаточно эффективной нормативной базой СРПП («изделие и технология его изготовления»), либо все-таки пытаться реализовать методологию *foundry*, по возможности адаптируя нестандартные процедуры под существующую нормативную базу. Но, во-первых, возможности такой адаптации очень ограничены (из-за кардинальной несовместимости парадигм разработки), во-вторых, такая адаптация обусловлена исключительно необходимостью «уместиться на Прокрустово ложе» процедур приемки и не имеет с реальным обеспечением качества ничего общего. В результате, несмотря на значительный технологический потенциал, отечественные компании могут не справиться с резко возросшим объемом заказов именно из-за отсутствия взаимовыгодных, прозрачных и законодательно утвержденных правил взаимодействия с потребителями.

Таким образом, проблема стандартизации, вынесенная в подзаголовок выше, включает в себя комплекс взаимосвязанных задач, для решения которых необходимо:

- пересмотреть основные положения либо полностью заменить (применительно к процессам разработки и производства ЭКБ) комплекс стандартов СРПП, «узаконив» технологии в качестве самостоятельного объекта стандартизации, в том числе обладающего атрибутами качества (включая надежность);
- разработать и принять комплекс стандартов, устанавливающий структуру, процедуры разработки, характеристики, верификации и аттестации стандартных технологий, основанных на библиотеках стандартных элементов и имеющих в составе комплексные инструменты проектирования (PDK), однозначно воспринимаемых потребителями и контролирующими органами (в том числе – ВП МО РФ), и полностью отражающих сущность объектов разработки;
- разработать комплекс стандартов, устанавливающий процедуры взаимодействия потребителей СВЧ ЭКБ с изготовителями (в том числе – фабриками *foundry*), дифференцированные по категориям качества технологических процессов, дающим потребителю гарантию получения в четко определенные сроки изделий с прогнозируемыми параметрами (в том числе – с наличием поведенческих моделей) и ценой, отражающей совокупность этих параметров, необходимую для конкретных условий эксплуатации.

А как же нитридная СВЧ ЭКБ? Что же конкретно нужно сделать, чтобы перспективные разработки отечественных предприятий прочно укрепились на внутреннем рынке не потому, что «а ведь других-то нет!», а потому, что «наше – ничуть не хуже»? На наш взгляд, ответы очевидны и приведены в этой статье.

* * *

С отставанием, признаваемым уже на всех уровнях государственного управления, российская микроэлектроника, тем не менее, проходит основные вехи разработки и внедрения перспективных образцов СВЧ ЭКБ на основе широкозонных полупроводников группы нитрида галлия. В частности, в текущем году реализованы первые коммерческие поставки кристаллов мощных СВЧ-транзисторов S- и C-диапазона отечественного производства, конкурентоспособных импортным аналогам. Технологический потенциал предприятий и организаций отрасли, активно декларируемая масштабная господдержка позволяют надеяться на расширение номенклатуры нитридных компонентов на весь круг возможных применений, определяемый уникальными фундаментальными свойствами этой

группы полупроводников. Вместе с тем авторы искренне опасаются, что без кардинального пересмотра сложившейся системы разработки и производства ЭКБ, комплексного, многолетнего и ресурсоемкого внедрения стандартов и процедур, доказавших свою эффективность в мировой практике, формирование рынка отечественной нитридной ЭКБ может так и остаться на уровне благих намерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Красовицкий Д. М., Филаретов А. Г., Чалый В. П.** Нитридная СВЧ-электроника в России: если еще подождать, уже не догоним // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2020. № 10. С. 94–99.
2. **Кищинский А. А.** СВЧ-компоненты на основе технологии нитрида галлия: взгляд изнутри // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2020. № 10. С. 44–51.
3. Электронику начнут с чистого нуля. Подготовлена стратегия развития отрасли до 2030 года. <https://www.kommersant.ru/doc/5558844>.
4. **M. Rosker et. al.** The DARPA Wide Band Gap Semiconductors for RF Applications (WBGs-RF) Program: Phase II Results. CS MANTECH Conference Digest. 2009.
5. **Красовицкий Д. М., Филаретов А. Г., Чалый В. П.** Производитель СВЧ ЭКБ в своем отечестве: желаемо ли действительное? // СВЧ-электроника. 2021. № 3. С. 12.
6. **Дудин А. Л., Фазылханов О. Р., Шуков И. В., Красовицкий Д. М., Филаретов А. Г., Чалый В. П.** Построение системы испытаний надежности нитридной СВЧ-электроники: Проблемы и решения // СВЧ-электроника. 2020. № 4. С. 56.
7. TOR-2018-00691 «Guidelines for Space Qualification of GaN HEMT Technologies», 2020 The Aerospace Corporation. <https://nepp.nasa.gov/workshops/etw2020/talks/17-JUN-WED/1400-Scarpulla-NEPP-ETW-GaN-HEMT.pdf>
8. <https://www.jedec.org/standards-documents>.
9. **Красовицкий Д. М., Фазылханов О. Р., Филаретов А. Г., Чалый В. П.** Верификация стандартных СВЧ-технологий по-русски: как подружить СРПП с JEDEC? // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2021. № 10. С. 84–93.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКА В СИСТЕМАХ РАДИОЛОКАЦИИ И СВЯЗИ. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

Издание 3-е, исправленное
В 2-х книгах

Белоус А. И., Мерданов М. К., Шведов С. В.

Цена за два тома 2420 руб.

Впервые в отечественной научно-технической литературе в объеме одной книги детально рассмотрены теоретические основы, физические механизмы и принципы работы всех известных СВЧ-приборов и типовых устройств на их основе, методы расчета и конструирования, базовые технологические, схематехнические и конструктивные особенности каждого класса СВЧ-приборов, а также наиболее распространенных технических решений радиоэлектронных систем на их основе — от РЛС и телекоммуникационных устройств различного назначения до СВЧ-оружия наземного и космического применения. Энциклопедия оформлена в двух книгах и содержит 18 глав.

Книга 1
М.: ТЕХНОСФЕРА, 2021. — 782 с.,
ISBN 978-5-94836-605-0
Цена 1210 руб.

Книга 2
М.: ТЕХНОСФЕРА, 2021. — 702 с.,
ISBN 978-5-94836-606-7
Цена 1210 руб.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru



КОМПЛЕКСНЫЕ ПОСТАВКИ

ЭКБ

АО «ТЕСТПРИБОР» производит поставки электронной компонентной базы отечественного и импортного **производства классов Industrial, Military, Space.**

Вся продукция ЭКБ проходят контрольные **испытания по стандарту MIL-STD-883**, которые соответствуют общим техническим условиям **MIL-PRF-38535 уровня «Класс В» и «Класс S».**

ВИДЫ ПРОДУКЦИИ

- Микросхемы
- Резисторы, конденсаторы, фильтры, предохранители, индуктивность
- Разъемы
- Модульные компоненты питания
- Полупроводниковые приборы (диоды, транзисторы)
- Генераторы, циркуляторы, изоляторы
- СВЧ (переключатели, усилители, аттенюаторы, волноводы)

