

Перспективы развития монокристаллических СВЧ ИС и GaN-радиоприборов

М. Макушин¹

УДК 621.37 | ВАК 05.27.01

Современная СВЧ-микроэлектроника демонстрирует перспективы устойчивого развития. Помимо традиционных для нее областей, таких как авиакосмическая и военная электроника, она все шире используется в гражданских применениях. Наиболее перспективными в гражданском секторе можно считать автомобильную электронику и средства связи, в частности инфраструктурное телекоммуникационное оборудование и трубки мобильных телефонов.

Перспективы развития рынка и технологий монокристаллических СВЧ ИС, а также радиоприборов во многом зависят от технологии, по которой они реализованы. Если для GaN-приборов – это в первую очередь пока военные применения, то для GaAs-приборов – это средства связи.

В автомобильной электронике рост использования радаров во многом связан с повышением стандартов безопасности, расширением использования автономных транспортных средств. При этом число радаров в машинах будет увеличиваться. Это одна из причин роста среднегодовых темпов роста продаж монокристаллических СВЧ ИС.

Другой, и более существенной с точки зрения объемов продаж, причиной является развертывание 5G-сетей/средств связи во все более широком масштабе. В частности, в трубках мобильных телефонов будет увеличиваться число усилителей мощности и маломощных усилителей. Кроме того, сейчас уже разрабатываются средства и стандарты 6G-связи, появление первых опытных изделий и сетей ожидается в районе 2030 года.

По мнению отраслевых аналитиков, преимущества получают технологии, обеспечивающие более высокие плотность мощности и КПД суммирования мощности при меньших форм-факторах. Одной из них является GaN-технология, изделия на основе которой уже успешно конкурируют с кремниевыми и GaAs-решениями.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЫНКА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЧ ИС В ЦЕЛОМ

Оценка, классификация и факторы, влияющие на рынок

В настоящее время существует несколько оценок современной емкости мирового рынка монокристаллических СВЧ ИС и рубежей, которые он может достигнуть в 2025

и 2029 годах. Так, если продажи в 2020 году составляли от 6,8 до 8,8 млрд долл., то в 2025 году они могут достигнуть от 8,0 до 9,2 млрд долл. (табл. 1). При этом интересно отметить, что, если среднегодовые темпы прироста продаж в сложных процентах (CAGR) за период 2020–2025 годов прогнозируются на уровне около 6%, то за период 2020–2029 годов этот показатель составит почти 11% [1–7].

Существует несколько подходов к классификации монокристаллических СВЧ ИС – в зависимости от типа изготавливаемых компонентов, по используемым материалам и транзисторным технологиям, частотным диапазонам и конечному применению (табл. 2).

Основными факторами, которые, как ожидается, будут способствовать росту рынка монокристаллических СВЧ ИС в прогнозируемом периоде, являются:

- рост потребности в них со стороны индустрии смартфонов;
- расширение использования E-диапазона для удовлетворения растущих потребностей в пропускной способности сотовых и беспроводных сетей;
- увеличение военных расходов.

Особо стоит отметить значение для увеличения потребности в монокристаллических СВЧ ИС такого фактора, как развертывание 5G-сетей/средств связи. Кроме того, к 2028–2029 годам могут появиться опытные образцы сетей/средств связи шестого поколения (6G), стандарты которых сейчас активно разрабатываются. Здесь также заложен потенциал существенного увеличения спроса на монокристаллические СВЧ ИС.

С другой стороны, есть и факторы, препятствующие росту рынка монокристаллических СВЧ ИС в прогнозируемый период – прежде всего это увеличение расходов на разработку данных ИС.

Географические факторы развития рынка

Особое значение в развитии мирового рынка монокристаллических СВЧ ИС играют страны Азиатско-Тихоокеанского региона. По темпам развития данного рынка они существенно

¹ АО «ЦНИИ «Электроника», главный специалист, mmackushin@gmail.com.

опережают остальные страны/регионы мира. Это можно объяснить:

- высокой популярностью сотовых телефонов;
- динамичным переходом к более быстродействующим технологиям мобильной связи (переход от 3G-сетей к 4G-сетям и далее к 5G-сетям) значительных масс абонентов;
- резким ростом использования мобильных услуг, включая социальные сети, видео, а также платежные/финансовые услуги и развитие интернет-бизнеса;
- существенным увеличением военных расходов в таких странах, как Индия, КНР, Южная Корея и Япония.

Значение Китая трудно переоценить – «Поднебесная» является одной из самых быстроразвивающихся

экономик в мире и одним из крупнейших мировых производственных центров с динамично развивающимся сектором электроники. Увеличение военных расходов, усиление внимания правительства к автомобильному сектору и развитию перспективных технологий способствуют росту рынка монолитных СВЧ ИС.

Основные типы ИС, определяющие развитие рынка

Большинство отраслевых аналитиков выделяют на рынке монолитных СВЧ ИС сектора кремниевых, GaAs- и GaN-приборов.

Кремниевые монолитные СВЧ ИС, включая SiGe ИС, являются наиболее распространенным типом современных СВЧ-приборов, используемых в мобильных телефонах, GPS-системах, спутниковой связи и беспроводных локальных сетях. При производстве этих ИС в качестве

Таблица 1. Прогнозы развития рынка монолитных СВЧ ИС

Фирма/ресурс, дата публикации прогноза	Объем продаж, млрд долл.			Примечания
	2019 г.	2020 г.	2025 г.	
Business Global Report, январь 2021 г.	-	6,838	9,2	-
360 ResearchReports, июнь 2021 г.	6,28	-	8,0	CAGR ₂₀₂₀₋₂₀₂₅ = 6,2%
ResearchandMarket, апрель 2021 г.	-	8,76	-	CAGR ₂₀₂₀₋₂₀₂₉ = 10,9%

Таблица 2. Различные классификации монолитных СВЧ ИС

Принцип классификации	Структурное содержание
По типу компонентов	Усилители мощности; малошумящие усилители; СВЧ-аттенюаторы, переключатели, фазовращатели, смесители СВЧ-диапазона; генераторы, управляемые напряжением; умножители частоты
По используемым материалам	GaAs, InP, SiGe, GaN, InGaP
По транзисторным технологиям	Полевые транзисторы с барьером Шоттки; транзисторы с высокой подвижностью электронов (НЕМТ); псевдоморфные НЕМТ (рНЕМТ); псевдоморфные НЕМТ в режиме усиления (E-mode НЕМТ), метаморфные НЕМТ (МНЕМТ); биполярные гетеротранзисторы (НВТ); МОП-транзисторы
По частотным диапазонам	L-диапазон (1-2 ГГц), S-диапазон (2-4 ГГц), C-диапазон (гражданский диапазон, 4-8 ГГц), X-диапазон (8-12 ГГц), Ku-диапазон (спутниковая связь, 12-18 ГГц), K-диапазон (18-27 ГГц), Ka-диапазон (26,5-40 ГГц), V-диапазон (40-75 ГГц), E-диапазон (60-90 ГГц), W-диапазон (75-110 ГГц)
По конечному применению	Бытовая/корпоративная электроника; инфраструктура беспроводной связи; автомобильная, аэрокосмическая и военная электроника; кабельное телевидение; проводная широкополосная связь; прочее

подложки используется монокристаллический кремний (изготовление на пластинах), что обеспечивает высокие эксплуатационные характеристики при низком рабочем напряжении.

Монолитные СВЧ ИС на основе GaAs обеспечивают высокие уровни мощности и производительности наряду с низкими показателями шума. Это делает их пригодными для использования в таких применениях, как телекоммуникационное оборудование, авиакосмическая и военная электроника, потребительская электроника и т. д.

GaN монолитные СВЧ ИС работают в миллиметровом частотном диапазоне и генерируют сигналы беспроводной связи для передачи информации/данных на большие расстояния или внутри зданий/сооружений. Они также преобразуют миллиметровые волны в широкополосные радиочастоты для распространения по кабельным сетям.

Основные производители

Ключевыми игроками, работающими на мировом рынке монолитных СВЧ ИС, являются 17 фирм, из них штаб-квартиры восьми расположены в США: Analog Devices, Broadcom, Custom MMIC Design Services, MACOM, Maxim Integrated, Mini-Circuits, Qorvo, Skyworks Solutions. Франция представлена тремя производителями: OMMIC, United Monolithic Semiconductors и VectraWave. Остальные шесть это: Arralis (Ирландия), BeRex (Южная Корея), Infineon Technologies (ФРГ), Microarray Technologies (КНР), NXP Semiconductor (Нидерланды), WIN Semiconductors (Тайвань) [2, 5].

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЫНКА GaN- И GaAs-РАДИОПРИБОРОВ

Отсутствие в открытом доступе данных по развитию секторов GaN и GaAs монолитных СВЧ-приборов сделало необходимым для дальнейшего анализа использовать данные по GaN- и GaAs-радиоприборам, в которых монолитные СВЧ ИС занимают существенное место.

Развитие сектора GaN-радиоприборов

Долгое время GaN-технология считалась очень высокотехнологичной и дорогостоящей, предназначенной только для военных применений. Но в середине 2010-х годов корпорация Huawei использовала ее в удаленных радиоблоках приемопередатчиков (RRH) базовых станций сетей 4G LTE. После этого GaN-радиоприборы стали все шире внедряться в коммерческих приложениях телекоммуникационной инфраструктуры благодаря высокой плотности мощности и меньшему, по сравнению с кремниевыми и GaAs-решениями, форм-фактору. После развертывания 5G в суб-6-ГГц диапазоне GaN продемонстрировал свойства, которые превосходят

существующую технологию LDMOS (горизонтальные ДМОП-транзисторы) на основе кремния с точки зрения более высокой пропускной способности и более высоких требований к плотности мощности.

Системы военного назначения на основе

Вопросы обеспечения национальной безопасности всегда были одними из главных приоритетов для любой страны. При разработке перспективных стратегий защиты и нападения военные отдают приоритет высокопроизводительным системам. Следовательно, решающее значение для них имеют возможности создания преимуществ в вероятных конфликтах: с одной стороны, более быстрая и качественная передача данных, обеспечивающая лучшую разведку, а с другой, наоборот, способность создавать помехи для аналогичных действий вероятного противника. За последние примерно 20 лет, за счет реализации обширных программ НИОКР и крупных инвестиций, удалось разработать и внедрить электронные системы следующих поколений на основе твердотельных технологий, особенно в радиолокации, радиоэлектронной борьбе (РЭБ) и военной связи. В области военных радаров появились системы AESA (active electronically scanned arrays), заменившие системы на основе ЭВП. AESA – это активная антенная решетка с электронным сканированием (ААРЭС), электронно-сканирующая антенная решетка. Она также известна как радар с активной фазированной антенной решеткой (АФАР). Является одним из типов нового поколения радаров с ФАР, чьи функции передатчика и приемника выполняются многочисленными твердотельными модулями приема/передачи (TRM). AESA-радары сопровождают цель своим «лучом», излучая отдельные радиоволны с каждого модуля. Эти волны структурно интерферируют под определенными углами перед антенной. AESA превосходят устаревшие пассивные электронно-сканирующие радары за счет растягивания излучаемых сигналов по полосам частот, что делает очень трудной задачей их выделение из фонового шума. Таким образом, AESA позволяет кораблям и летательным аппаратам осуществлять передачу мощных радарных сигналов, оставаясь незаметными для противника. AESA обеспечивают ряд преимуществ, таких как большая площадь обнаружения, более высокая скорость сканирования и более высокое пространственное разрешение, а также масштабируемость и упрощенная конфигурация приемопередатчиков. В этом контексте использование приборов типа «GaN-на-SiC» в технологии AESA помогает уменьшить занимаемую площадь и вес при одновременном повышении эффективности системы. В качестве альтернативы LDMOS- и GaAs-приборам, GaN-технология обеспечивает высокую плотность мощности и более

высокий КПД суммирования мощности при высокой теплопроводности в случае установки в ограниченном пространстве.

За последние годы разворачивание GaN-технологии в РЛС военного назначения стало чрезвычайно популярным в рамках долгосрочных и высокобюджетных проектов в ряде стран, таких как США (на данный момент лидируют), Англия, Франция, ФРГ, Южная Корея и КНР. Соответственно ожидается, что продажи GaN-радиоприборов военного назначения будут быстро расти, и к 2025 году их стоимость превысит 1 млрд долл. (рис. 1, 2). По данным исследовательской фирмы Yole Développement (Лион, Франция), большое число GaN-приборов, требующихся AESA РЛС, представляет собой интересную рыночную возможность для кремниевых заводов (foundry, контрактное производство ИС) и военных подрядчиков. Хотя узким местом GaN-приборов является их высокая стоимость, оборонная промышленность ожидает ее снижения по мере внедрения GaN-технологии на коммерческих рынках (особенно в сегменте 4G- и 5G-инфраструктуры) [8, 9].

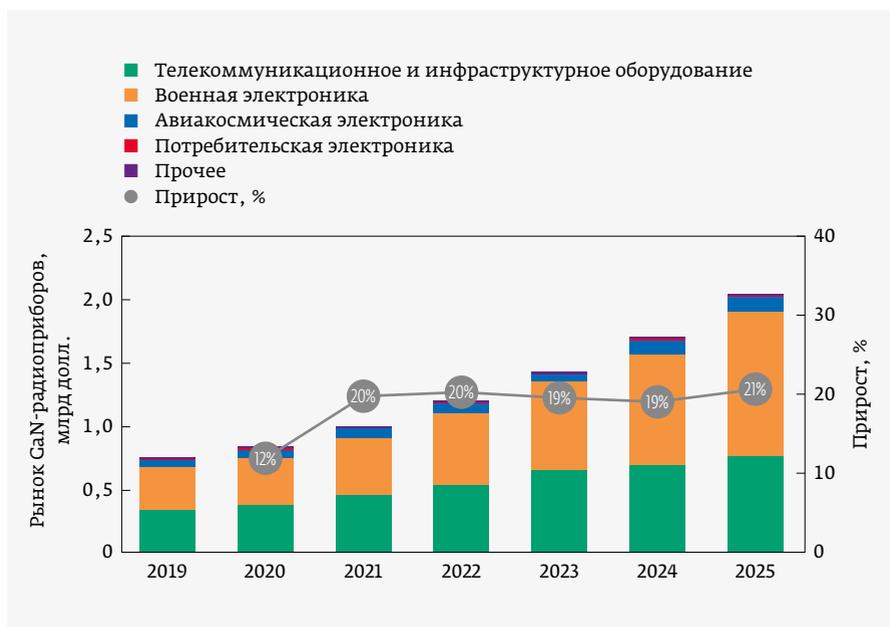


Рис. 1. Динамика и прогноз рынка GaN-радиоприборов в 2019–2025 годах

5G телекоммуникационная инфраструктура: GaN-технология устанавливает правила

На динамичном рынке 5G телекоммуникационной инфраструктуры идет непрерывная гонка за более эффективными типами антенн. Переход технологии коммуникационных соединений с RRH на активные антенные системы (AAS) будет способствовать преобразованию

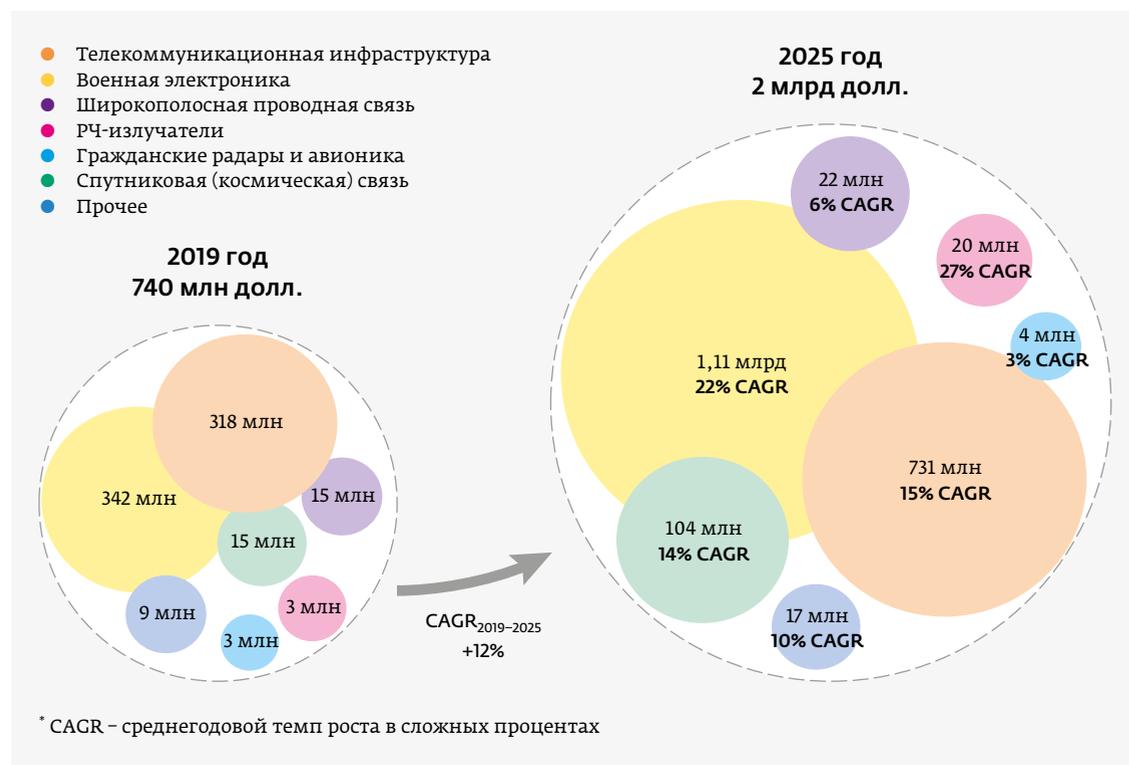


Рис. 2. Динамика и прогноз рынка корпусированных GaN-радиоприборов в 2019 и 2025 годах

входных радиокаскадов из блоков с небольшим числом высокоомощных радиочастотных линий в блоки с большим числом маломощных радиочастотных линий. Кроме того, внедрение более высоких частот в суб-6-ГГц-диапазоне, а также в режимах миллиметровых волн, подталкивает производителей оборудования к поиску новых платформ антенных технологий с большей пропускной способностью, более высокой эффективностью и лучшим управлением тепловым режимом.

В этом контексте технология GaN стала серьезным конкурентом LDMOS- и GaAs-приборам в секторе мощных применений, демонстрируя непрерывное повышение производительности и надежности, потенциально приводящее к снижению затрат на системном уровне. Ожидается, что после проникновения на рынок 4G LTE телекоммуникационной инфраструктуры приборы типа «GaN-на-SiC» также займут устойчивые позиции (с тенденцией к расширению) в секторе 5G RRH суб-6-ГГц-диапазона.

Тем не менее, в формирующемся сегменте 5G активных антенных систем суб-6-ГГц-диапазона (систем со многими входами и многими выходами (MIMO)) соперничество между GaN и LDMOS продолжается. В то время как экономичная технология LDMOS продолжает демонстрировать заметный прогресс по производительности в суб-6-ГГц-диапазоне, приборы типа «GaN-на-SiC» обеспечивают высокие пропускную способность, КПД суммирования мощности и выходную мощность.

Отмечается, что 5G телекоммуникационная инфраструктура – это очень динамичный рынок, требующий от производителей оборудования принятия серьезных стратегических решений, создающих новые возможности для GaN технологических платформ. Например, в КНР, после слияния China Unicom и China Telecom, для AAS-решений с полосой пропускания более 150 МГц была выбрана GaN-технология [8].

Вопросы интеграции

Что касается малых сот^{*}, первоначально их реализации охватывали миллиметровый диапазон для удовлетворения спроса в густонаселенных городских районах. Этот сектор готов к быстрому росту, особенно из-за их

* Small cell – малая ячейка (малая сота), узел радиодоступа с малой потребляемой мощностью, работающий в лицензируемом и нелицензируемом спектрах и обладающая диапазоном действия от 10 м до 1–2 км (по сравнению с несколькими десятками, как у макросот / макросот). Малые ячейки являются важным элементом разгрузки данных сетей третьего поколения (3G) и более эффективным (чем макросоты) средством управления спектром LTE Advanced. К малым сотам относятся фемтосоты, пикосоты и микросоты.

небольшого размера и необходимости в большем числе устройств по причине их малого радиуса действия. В этом развивающемся сегменте среди потенциальных технологических решений наравне с SiGe-, КНИ-, КМОП- и GaAs-приборами рассматриваются и решения типа «GaN-на-SiC» и «GaN-на-Si». Производители GaN-приборов уже начали выпускать продукты, ориентированные на сектор малых сот и смежные сектора, с использованием инновационных методов интеграции [8, 9].

Возможность интеграции действительно является одним из ключевых активов радиопромышленности. Основными факторами интеграции радиоприборов являются экономия занимаемого пространства и снижение потерь РЧ-излучения. GaN-технология обеспечивает монолитную и эффективную интеграцию усилителей мощности (PA), малозумящих усилителей (LNA) и технологий коммутации как на SiC-подложках, так и на Si-подложках. При этом достигаются как высокие плотности мощности, так и низкие шумовые характеристики. С этой точки зрения технология «GaN-на-Si» является потенциальным конкурентом технологии «GaN-на-SiC», так как может предложить экономичные интегрированные решения с низкой стоимостью и использованием кремниевых подложек большого диаметра, а также масштабируемую цепочку поставок подложек.

Необходимо учитывать, что бизнес в области GaN-радиоприборов зависит не только от технологических решений разработчиков и поставщиков комплектного оборудования (ОЕМ), но и от геополитических факторов. После введения американских санкций со II квартала 2019 года на продукцию корпорации Huawei, в 2019 году возник дефицит предложения, в основном на рынке GaN телекоммуникационной инфраструктуры. Это вынуждает участников данного рынка внимательно следить за тем, как в ближайшие годы будут развиваться различные стратегические партнерства и инвестиции в данную технологию [8].

Подложки GaN-приборов: SiC или кремний?

По данным Yole Développement, в 2020 году емкость рынка GaN-радиоприборов в целом составила 891 млн долл. При этом на приборы типа «GaN-на-SiC» приходится 342 млн долл., а на приборы типа «GaN-на-Si» – менее 5 млн долл. (менее 1% продаж) (рис. 3). Также на рынке присутствуют GaAs- и LDMOS-приборы. В период до 2026 года основной технологией останутся приборы типа «GaN-на-SiC». Их объем продаж увеличится до 2,222 млрд долл. при среднегодовом приросте продаж в сложных процентах (CAGR) за 2020–2026 годы в 17%. Но, как прогнозируется, продажи приборов типа «GaN-на-Si» будут расти опережающими темпами – с CAGR=86%, а объем продаж в 2026 году достигнет



ПРЕЦИЗИОННЫЕ ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА СЕРИИ

PPX7

Сферы применения и целевые области эксплуатации:

- Разработка и выпуск IoT-устройств
- Электронный дизайн портативных изделий
- Отладка встроенных медицинских устройств (электронных имплантов)
- Анализ и тестирование датчиков (сенсоров положения, дальности и др.)

- 6 моделей
- Высокое разрешение: 0,1 мкА / 0,1 мВ
- Низкие пульсации и шумы < 0,35 мВскз
- Высокая скорость
- Удобное управление

173 млн долл. (7% рынка). Объем рынка в целом в 2026 году составит 2,4 млрд долл. при CAGR=18% [10].

Состояние и перспективы рынка GaAs-радиоприборов

Рынок 5G телекоммуникационной инфраструктуры – не единственная возможная сфера развития технологической платформы «GaN-на-Si». В течение нескольких последних лет ряд фирм активно развивал на этой технологической платформе решения в области усилителей мощности для трубок 5G-смартфонов. OEM-производители стремятся сэкономить пространство, занимаемое в трубках мобильных телефонов входными радиокаскадами, поэтому GaN-технология рассматривается ими как возможность революционизирования радиопромышленности за счет преимущества высоких плотности мощности и КПД суммирования мощности. Но в суб-6-ГГц-диапазоне и в области миллиметровых волн GaN-технология сталкивается с устойчивой конкуренцией со стороны GaAs-технологии, также относящейся к материалам класса A^{III}B^V.

GaAs-приборы, ставшие одним из основных «строительных блоков» усилителей мощности в 3G и 4G мобильных телефонах, будут широко использоваться и в трубках 5G-смартфонов, работающих в суб-6-ГГц-диапазоне – так как они отвечают строгим требованиям к линейности и мощности. Специалисты Yole Développement отмечают, что каждое поколение мобильных телефонов требует увеличения числа диапазонов и усилителей мощности, а с переходом на 5G ожидается увеличение общей площади, занимаемой в трубке мобильного телефона усилителями мощности. Сейчас в сфере мобильной связи существует тенденция перехода к решениям типа «система-на-кристалле» (SoC) на основе SiGe, за исключением старших моделей смартфонов, где применение GaAs-усилителей мощности остается предпочтительным из-за лучшей производительности. Однако недавно представленный стандарт Wi-Fi 6E будет работать на частоте 6 ГГц, где производительность SiGe-приборов будет ограничена, а внедрение GaAs – благоприятно.

Таким образом, ожидается, что рынок кристаллов GaAs-радиоприборов к 2025 году превысит 3,6 млрд долл., что обуславливается большим объемом рынка

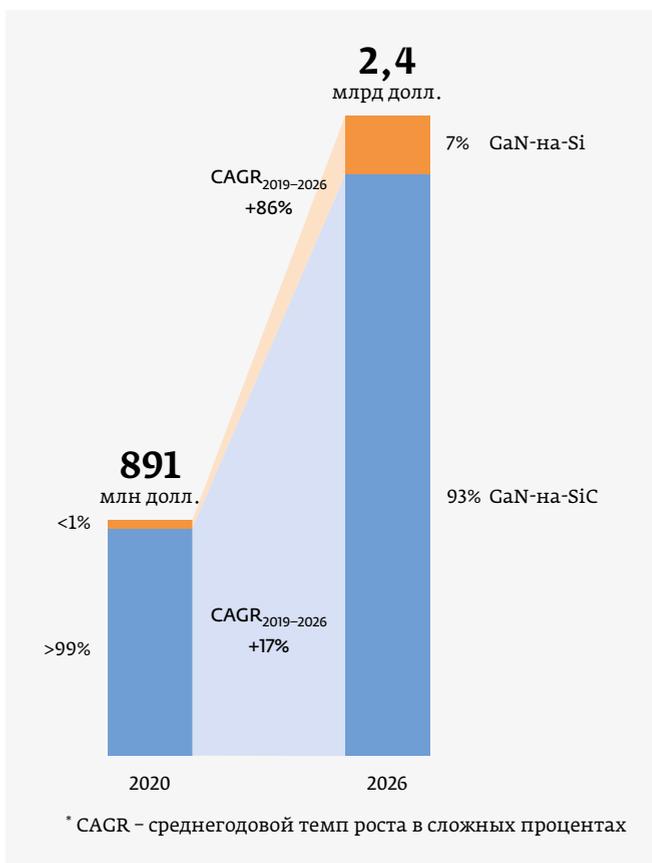


Рис. 3. Динамика и прогноз структуры рынка корпусированных GaN-радиоприборов в 2020 и 2026 годах по технологическим платформам на основе кремния и SiC

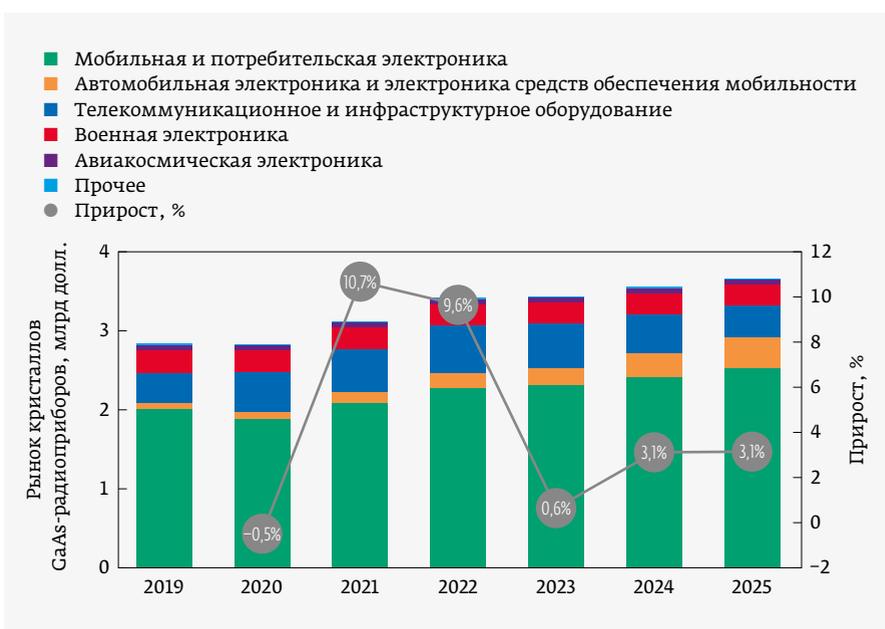


Рис. 4. Динамика и прогноз рынка кристаллов GaAs-радиоприборов в 2019–2025 годах

мобильных телефонов (рис. 4). Однако, как в случае с GaN-радиоприборами, даже зрелая индустрия GaAs-радиоприборов ощутила на себе воздействие торгово-технологических противоречий между США и КНР, а также пандемии COVID-19, которые создали разнонаправленную динамику на мировом рынке смартфонов в период 2019–2020 годов.

* * *

Подводя итоги, можно сказать, что рынок монолитных СВЧ ИС безусловно будет динамично развиваться. Это обусловлено:

- развертыванием сетей и средств 5G-связи (а в последующем и 6G-технологии), включая индустрию смартфонов;
- расширением использования E-диапазона для удовлетворения растущих потребностей в пропускной способности сотовых и беспроводных сетей;
- развитием радарных технологий гражданского назначения (автомобильная электроника, авиация, в том числе беспилотная, и т. д.);
- ростом военных расходов, в структуре которых увеличиваются расходы на бортовые перспективные радары, наземные РЛС, средства ПВО и РЭБ, космическую (спутниковую) связь.

В секторе радиоприборов наиболее динамично будет развиваться GaN-технология, позволяющая создавать более миниатюрные, производительные и надежные приборы. При этом сектор приборов типа «GaN-на-Si» будет развиваться опережающими темпами по сравнению с сектором «GaN-на-SiC». По-видимому, перспективы GaN-радиоприборов радужны, но не прямолинейны. Столкнувшись с «движущейся целью» в лице зрелых кремниевых и GaAs технологических платформ в инфраструктуре 5G и входных радиокаскадов, индустрия GaN демонстрирует способность развиваться и постоянно предлагать конкурентоспособные альтернативные решения. Вероятно, что GaN-технология действительно обладает захватывающими возможностями развития бизнеса на крупных коммерческих рынках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Global Monolithic Microwave IC Market Report 2021 // Business Growth Report. 2021. Jan. 18.
2. Global Monolithic Microwave IC Market – Industry Trends and Forecast to 2028 // Data Bridge. 2021. Jun.
3. Global Monolithic Microwave IC Market Growth 2021–2026 // 360 Research Reports. SKU ID: LPI-18525369. Publishing Date. 2020. Dec. 31.
<https://www.360researchreports.com/global-monolithic-microwave-ic-market-18525369>
4. Monolithic Microwave IC (MMIC) Market Size, Market Share, Application Analysis, Regional Outlook, Growth Trends, Key Players, Competitive Strategies and Forecasts, 2021 to 2029 // Research and Markets. 2021. April.
<https://www.researchandmarkets.com/reports/5317915/monolithic-microwave-ic-mmic-market-size>
5. Monolithic Microwave Integrated Circuit (MMIC) Market – Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2018–2026 // Transparency Market Research. Ongoing Dec 2022.
<https://www.transparencymarketresearch.com/mmhc-market.html>
6. Monolithic Microwave IC Market Share Analysis 2021 // WBOC Industry Research, Thursday. July 22nd. 2021.
7. Monolithic Microwave IC Market Research Report // Dataintel Report ID: 116951, 2021.
<https://dataintel.com/report/monolithic-microwave-ic-market/>
8. **Dogmus E.** GaN and GaAs: 5G Brings Thriving Business Opportunities // Microwave Journal. 2020. November 2.
9. Editorial Team. RF GaN Market Expected to Reach \$2 Billion by 2025 // everythingRF. 2020. May 14.
<https://www.everythingrf.com/news/details/10180-RF-GaN-Market-Expected-to-Reach-2-Billion-by-2025>
10. GaN for RF electronics: GaN-on-SiC vs GaN-on-Si? // i-Micronews. 2021. June 03.

ООО «Руднев-Шиляев»

- разработка измерительных систем по техническому заданию Заказчика.
- помощь в составлении технического задания Заказчика.
- производство измерительных систем.
- разработка и производство приборов.
- разработка программно-аппаратного обеспечения по ТЗ Заказчика.
- сертификация измерительных систем и приборов.

Инструментальные решения задач заказчика!

125130, г. Москва, ул. Клары Цеткин, д. 33 корп. 35
www.rudshel.ru, e-mail: adc@rudshel.ru
тел./факс: (495) 787-6367, 787-6368

Микросхема 5559ИН84Т быстродействующего приемопередатчика интерфейса RS485/422

ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» провела освоение в серийном производстве микросхемы 5559ИН84Т категории качества «ВП», предназначенной для применения в аппаратуре специального назначения. Микросхема содержит один передатчик и один приемник последовательных данных интерфейса RS485/422 и обеспечивает дуплексный режим приема и передачи данных. Микросхема изготавливается в металлокерамическом корпусе типа 4112.8-1.01 и функционирует при температуре среды от -60 до $+125$ °С. Функциональным аналогом микросхемы 5560ИН84Т является микросхема ADM3490 компании Analog Devices.

Технические условия – АЕНВ.431230.530 ТУ.

Таблица 1. Электрические параметры микросхем при приемке и поставке

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Буквенное обозначение параметра	Норма параметра		Температура среды, °С
		не менее	не более	
Напряжение питания, В	U_{CC}	3,0	3,6	25±10; -60; 125
Входное напряжение низкого уровня, В	U_{IL}	0	0,8	
Входное напряжение высокого уровня, В	U_{IH}	2,0	U_{CC}	
Ток потребления без нагрузки, мА	I_{CC}	–	2,2	
Электрические параметры приемника				
Выходное напряжение низкого уровня, В при $U_{ID} = -200$ мВ; $I_{OL} = 2,5$ мА	U_{OL}	–	0,4	25±10; -60; 125
Выходное напряжение высокого уровня, В при $U_{ID} = 200$ мВ; $I_{OH} = -1,5$ мА	U_{OH}	$U_{CC} - 0,4$	–	
Время задержки распространения при включении/выключении, нс	t_{PHLR} , t_{PLHR}	25	90	25±10
Электрические параметры передатчика				
Дифференциальное выходное напряжение, В при $U_{CC} = 3,0$ В; 3,6 В; $R_L = 54$ Ом	U_{OD}	1,5	–	25±10; -60; 125
Разность амплитуд дифференциального выходного напряжения различной полярности, В при $R_L = 54; 100$ Ом	ΔU_{OD}	–	0,2	
Выходное напряжение смещения относительно общего вывода, В при $R_L = 54; 100$ Ом	U_{OC}	–	3,0	
Разность выходных напряжений смещения различной полярности, В при $R_L = 54; 100$ Ом	ΔU_{OC}	–	0,2	
Время задержки распространения при включении/выключении, нс при $R_L = 27$ Ом; $C_L = 15$ пФ; $U_{CC} = 3,3$ В	t_{PHLD} , t_{PLHD}	7,0	35	25±10
Скорость передачи данных, Мбит/с при $R_L = 27$ Ом; $C_L = 15$ пФ; $U_{CC} = 3,3$ В	ST	12	–	

Таблица 2. Таблица назначения выводов микросхемы 5559ИН84Т

Номер вывода	Обозначение	Наименование вывода
01	V _{cc}	Вывод питания от источника напряжения
02	RO	Выход приемника
03	DI	Вход передатчика
04	GND	Общий вывод
05	Y	Прямой выход передатчика
06	\bar{Y}	Инверсный выход передатчика
07	\bar{B}	Инверсный вход приемника
08	A	Прямой вход приемника

Таблица 3. Таблица истинности передатчика микросхемы 5559ИН84Т

Вход	Выходы	
DI	\bar{Y}	Y
H	L	H
L	H	L

*Примечание: H – высокий уровень напряжения;
L – низкий уровень напряжения.*

Таблица 4. Таблица истинности приемника микросхемы 5559ИН84Т

Входы	Выход
A– \bar{B}	RO
$\geq +0,2$ В	H
$\leq -0,2$ В	L
Входы не задействованы	H

*Примечание: H – высокий уровень напряжения;
L – низкий уровень напряжения.*

Микросхема 5559ИН84Т стойкая к воздействию специальных факторов 7.И, 7.К и 7.С по ГОСТ РВ 20.39.414.2 с характеристиками 7.И₁ – 4Ус; 7.И₆ – 4Ус; 7.И₇ – 4Ус; 7.С₁ – 50×5Ус; 7.С₄ – 5×5Ус; 7.К₁ – 1,7×1К; 7.К₄ – 0,08×1К; 7.К₉ (7.К₁₀) – является стойкой; 7.К₁₁ (7.К₁₂) – до уровня 60 МэВ см²/мг по катастрофическим отказам и тиристорному эффекту.

Возможна поставка микросхемы в бескорпусном исполнении на общей пластине или в виде отдельных кристаллов, упакованных в кассеты.


ОАО «ИНТЕГРАЛ»

управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» Республика Беларусь

www.integral.by

 тел.: (+375-17) 238 97 43
 E-mail: ATitov@integral.by