

# Обзор GaN-транзисторов компании United Monolithic Semiconductors

Дмитрий НИКИТИН  
nikitin@radiocomp.ru

**В настоящее время наблюдается активное развитие направления СВЧ-транзисторов и монолитных интегральных схем на широкозонной гетеросистеме AlGaIn/GaN. Благодаря большой ширине запрещенной зоны элементы могут работать при высоких температурах и рабочем напряжении стока выше 50 В. GaN-транзисторы обеспечивают более широкую полосу рабочих частот и высокий КПД стока по сравнению с GaAs-транзисторами. В статье рассматриваются мощные GaN-транзисторы, которые разрабатывает и производит компания United Monolithic Semiconductors.**

Компания United Monolithic Semiconductors (UMS) была создана в 1996 году. Она разрабатывает и выпускает широкий перечень ВЧ- и СВЧ-микросхем в общей полосе частот до 100 ГГц, применяемых в телекоммуникационных системах и устройствах, космической технике, военном и промышленном оборудовании, а также в радиоэлектронных устройствах для автомобилей и медицинской технике. Заводы компании находятся во Франции и Германии.

Полевые транзисторы на гетероструктурах AlGaIn/GaN, интерес к которым неуклонно растет на протяжении последнего десятилетия, по совокупности параметров уникальны в ряду СВЧ-приборов. По сравнению с GaAs-усилителем мощный СВЧ-усилитель, выполненный по GaN-технологии, обладает большей выходной мощностью при меньших геометрических размерах. Кроме того, схемотехника усилителей, выполненных

на GaN, проще, так как требует суммирования мощности меньшего числа каскадов.

GaN-транзисторы обладают рядом преимуществ, среди которых можно выделить:

- высокое рабочее напряжение (напряжение пробоя выше 100 В);
- высокие рабочие температуры (более +150 °С для активной зоны кристалла);
- высокая плотность потока мощности (5–30 Вт/мм);
- работа в широкой полосе частот (до 6 ГГц для рассматриваемых транзисторов);
- высокий КПД (до 60%).

Наиболее распространенная структура GaN-транзистора приведена на рис. 1. Она включает в себя относительно толстый буферный слой GaN, прикрытый тонким слоем AlGaIn. Благодаря большому разрыву зон проводимости в сочетании с эффектом пьезолегирования на гетерогранице GaN/AlGaIn происходит образование двумерного электронного газа — тонкого слоя с высокой

плотностью и подвижностью свободных электронов. Высокий уровень как подвижности, так и концентрации носителей в канале вкуче с широкой запрещенной зоной (3,4 эВ при комнатной температуре) обуславливают уникальное сочетание частотных и мощностных свойств GaN [3].

Подложкой, на которой выращивается структура GaN, обычно служит Si, SiC или сапфир. Подложки из кремния — самые доступные и недорогие, но они обладают низкой теплопроводностью, что ограничивает область их использования. Наиболее широко применяются подложки из сапфира. Имея самую низкую стоимость, они обладают и самой низкой теплопроводностью из рассматриваемых вариантов. Кроме того, различия в структуре кристаллических решеток приводят к возникновению больших термических напряжений на границе GaN/сапфир. Подложки из SiC отличаются высокой теплопроводностью. Их кристаллическая решетка более схожа с решеткой GaN, поэтому переходный слой GaN/SiC получается качественнее. Но высокая стоимость этого материала приводит к существенному увеличению стоимости самого транзистора.

В декабре 2011 года компания United Monolithic Semiconductors представила первый GaN-транзистор собственной разработки с выходной мощностью 30 Вт и рабочим диапазоном частот до 4,5 ГГц. На данный момент линейка мощных GaN СВЧ-транзисторов пополнилась и включает в себя четыре транзистора, работающих в частотном диапазоне до 6 ГГц с выходной мощностью до 90 Вт. Все предлагаемые компоненты сертифицированы для применения в космической технике. Они выполнены во фланцевом металлокерамическом корпусе с длиной за-

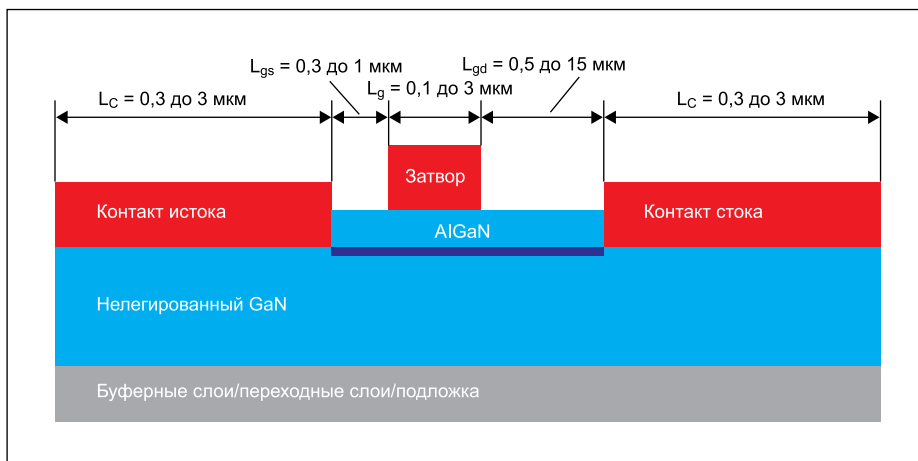


Рис. 1. Структура GaN-транзистора

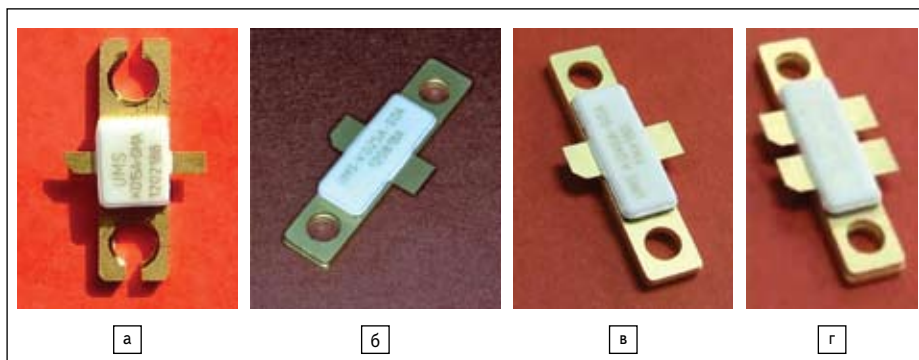


Рис. 2. Внешний вид GaN-СВЧ транзисторов компании United Monolithic Semiconductors: а) CHK015A-SMA; б) CHK025A-SOA; в) CHK040A-SOA; г) CHK080A-SRA

Таблица. Характеристики GaN-транзисторов компании United Monolithic Semiconductor

Модель	Полоса частот, ГГц	Выходная мощность, Вт (импульсная)	Коэффициент усиления, дБ (импульсный)	КПД добавленной мощности, % (импульсный)	Питание, А/В
CHK015A-SMA	DC–6	15	10 на частоте 6 ГГц	50 на частоте 6 ГГц	0,1/50
CHK025A-SOA	DC–4,5	30	12 на частоте 4 ГГц	55 на частоте 4 ГГц	0,2/50
CHK040A-SOA	DC–3,5	45 (55)	12 (13) на частоте 3 ГГц	55 (60) на частоте 3 ГГц	0,3/50
CHK080A-SRA	DC–3,5	90 (100)	12 (13) на частоте 3 ГГц	55 (60) на частоте 3 ГГц	0,6/50

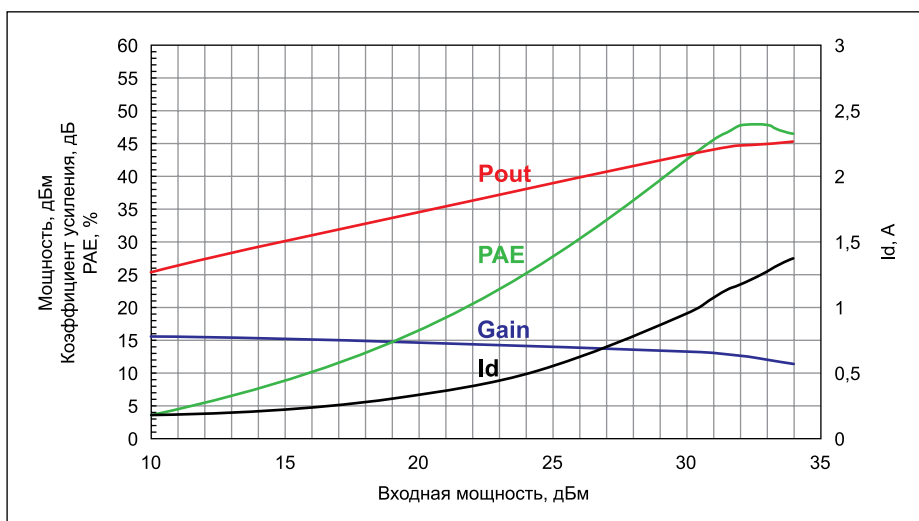


Рис. 3. Характеристики транзистора CHK025A-SOA на частоте 4 ГГц, при  $V_{DS} = 50$  В,  $I_{DQ} = 200$  мА

транзистора приведены на рис. 3. Предельно допустимое напряжение сток/исток составляет 60 В; ток стока — 4 А. Максимальная входная мощность не должна превышать 37 дБм. Предельно допустимая температура перехода — +220 °С.

В ассортименте компании UMS есть GaN-транзистор CHZ050A-SEA, согласованный на нагрузку 50 Ом (рис. 4). Рабочая полоса частот — 5,2–5,9 ГГц. Выходная мощность составляет 55 Вт (импульсная) при коэффициенте усиления 11 дБ (импульсный). Эти характеристики достигаются при напряжении сток/исток 50 В, токе потребления 400 мА и КПД добавленной мощности 40%. Транзистор выполнен в герметичном фланцевом металлическом корпусе.

Компания United Monolithic Semiconductors предоставляет подробные радиочастотные характеристики и таблицы S-параметров выпускаемых транзисторов, которые можно найти на сайте [6].

Рассмотренные транзисторы компании UMS являются высоко востребованной продукцией, используемой в телекоммуникационных и радиолокационных системах и устройствах. Транзисторы обладают высоким КПД, высокой выходной мощностью и отличаются большим временем наработки на отказ (более  $10^6$  ч). В настоящее время ведется освоение 0,25-мкм технологии. Внедрение этих процессов позволит расширить рабочий диапазон частот до 20 ГГц.

Дальнейшие шаги компании United Monolithic Semiconductors в направлении GaN-технологий [5]:

- окончание квалификационных испытаний 0,25-мкм технологии и внедрение ее на производстве;
- применение GaN-технологии в разработках для космического применения;
- разработка новых транзисторов: с выходной мощностью 150 Вт для L-диапазона, 100 Вт для C-диапазона и универсального транзистора мощностью 7 Вт;
- разработка первых монолитных интегральных микросхем СВЧ-диапазона: с мощностью 30 Вт для X-диапазона и 10 Вт для полосы частот 6–18 ГГц.

## Литература

1. [www.ums-gaas.com](http://www.ums-gaas.com)
2. [www.radiocomp.ru](http://www.radiocomp.ru)
3. Алексеев А., Чалый В., Красовицкий Д., Петров С. Многослойные гетероструктуры AlN/AlGaIn/GaN/AlGaIn — основа новой компонентной базы твердотельной СВЧ-электроники // Компоненты и технологии. 2008. № 2.
4. Hindle P. Future RF Market Opportunities for GaN // Microwave Journal. 2012. June. Vol. 55. No. 6.
5. Viaud J. P. Specialized for Defense GaN: UMS Viewpoint // Microwave Journal. 2012. June. Vol. 55. No. 6.
6. [www.ums-gaas.com](http://www.ums-gaas.com)

твора 0,5 мкм. В качестве подложки используется SiC. Корпус обладает низкими паразитными характеристиками и малым температурным сопротивлением, что облегчает теплоотвод от активной зоны элемента. Для включения в схему требуются внешние согласующие цепи, так как входы и выходы транзисторов не согласованы.

Основные характеристики транзисторов, предлагаемых компанией, приведены в таблице. Их внешний вид показан на рис. 2.

Полную информацию о GaN-транзисторах компании UMS можно найти на ее сайте.

Для примера более подробно рассмотрим транзистор CHK025A-SOA (рис. 3). Верхняя граница рабочей полосы частот доходит до 4,5 ГГц, выходная мощность достигает 30 Вт. Транзистор обладает коэффициентом усиления более 12 дБ на частоте 4 ГГц. Рекомендованное напряжение сток/исток —

50 В. Начальный ток в цепи стока (200 мА — по рекомендации производителя) достигается при напряжении –1,9 В, прикладываемом к затвору транзистора. Максимальный ток стока при напряжении питания 50 В составляет 1,3 А. Динамические характеристики

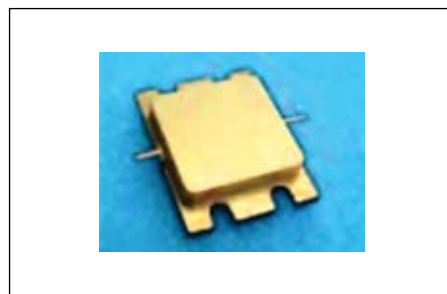


Рис. 4. Согласованный 55-Вт транзистор CHZ050A-SEA компании United Monolithic Semiconductors