

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ GaN НЕМТ в системах спутниковой связи и вещания

М.Лаврентьев, QTECH, Д.Гелерман, Advantech Wireless

Новое поколение твердотельных усилителей мощности для систем спутниковой связи и вещания появилось на рынке благодаря успешному развитию технологии GaN НЕМТ. Ряд уникальных технических параметров позволяет GaN-транзисторам уверенно вытеснять такие технологии, как ЛБВ и GaAs-транзисторы. В статье рассматриваются вопросы применения нового поколения твердотельных GaN-усилителей мощности и перспективы дальнейшего развития этого направления индустрии.

Немного истории

Полупроводниковые транзисторы получили широкое распространение в системах спутниковой связи в 70-е годы прошлого века, когда были созданы полевые транзисторы на базе GaAs. Они применялись, прежде всего, в маломощных усилителях как более качественная и экономичная альтернатива параметрическим усилителям. Двадцать лет спустя GaAs-транзисторы стали использоваться и в усилителях мощности, создавая серьезную конкуренцию доминирующей тогда на рынке технологии ламп бегущей волны (ЛБВ). Полупроводниковые усилители мощности были очень привлекательны благодаря более высокой линейности, меньшему уровню интермодуляционных составляющих, высокой надежности и достаточной устойчивости к радиации.

Со временем доля полупроводниковых усилителей мощности на рынке систем спутниковой связи продолжала расти, постепенно вытесняя оттуда ЛБВ. Однако, несмотря на все свои

очевидные преимущества, GaAs-усилители мощности не смогли полностью вытеснить с рынка ЛБВ, особенно в сегменте усилителей мощности номиналом от 500 Вт. Это вызвано механическими свойствами GaAs как материала транзистора, а также более низким КПД по сравнению с ЛБВ. К недостаткам GaAs-транзисторов также можно отнести невысокое напряжение пробоя, низкую плотность мощности, невысокую допустимую рабочую температуру.

Последний недостаток является чрезвычайно значимым, поскольку требует очень аккуратной разработки системы теплоотвода, что часто становится критическим фактором для усилителей высокой мощности. Решение этой задачи возможно несколькими методами. Самым известным и распространенным из них является метод когерентного фазового сложения. Также интересное решение пространственного сложения разработала компания WaveStream. В 90-х годах прошлого века начала интенсивно использоваться

Основные технические характеристики полупроводниковых материалов

Материал	Ширина запрещенной зоны, эВ	Напряжение пробоя, мВ/см	Теплопроводность, Вт/(см·К)	Подвижность электронов, см ² /(В·с)	Дрейфовая скорость насыщения, см/с×10 ⁷	ε
SiC (4H)	3,26	2	4,5	700	2	10
GaN	3,49	3,3	1,7	1500	1,5	9
GaAs	1,42	0,4	0,5	6000	1	12,8
Si	1,1	0,3	1,5	1300	1	11,8

технология транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT). Она позволила добиться существенного улучшения параметров GaAs HEMT, однако в начале 2000-х годов стало понятно, что GaAs-усилители мощности достигли максимума своих функциональных возможностей. В результате ученые из ведущих научных лабораторий начали исследования в области СВЧ-микроэлектроники для поиска альтернативы арсениду галлия и кремнию. Основной задачей был поиск и разработка элементной базы, функционирующей при высокой температуре и на больших мощностях. Наилучшими кандидатами оказались SiC и GaN, имеющие большую величину запрещенной зоны. Основными достоинствами этих материалов являются высокая плотность мощности, прочная кристаллическая решетка, по свойствам напоминающая алмазную, повышенная устойчивость к внешним воздействиям и рабочая температура до 300°C.

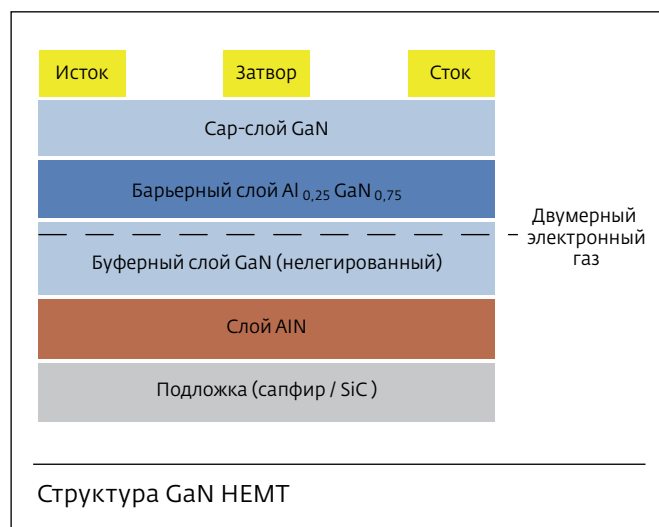
За последние 10 лет разработка GaN HEMT далеко продвинулись, и сегодня на рынке доступны транзисторы различной мощности для самых разных приложений. Эти усилители начали интенсивно применяться во многих решениях, таких как системы спутниковой связи и вещания, военные радары, системы мобильной связи. По нашим оценкам, за счет своих уникальных возможностей GaN-усилители мощности со временем полностью вытеснят с рынка ЛБВ-системы.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О GaN HEMT

Сегодня технология HEMT широко применяется для СВЧ-устройств высокой мощности. Традиционные HEMT-транзисторы имеют определенные ограничения в материалах, из которых они производятся. Разработчики уже практически достигли теоретических пределов возможностей элементной базы GaAs, а GaN представляет собой новое поколение материалов, которые идеально подходят для

HEMT-транзисторов благодаря своим уникальным физическим и электрическим свойствам. В таблице приведены основные параметры материалов, применяемых для изготовления СВЧ-транзисторов.

Основной недостаток классических полевых GaAs-транзисторов – наличие легирующих примесей в канале. На примесных центрах происходит рассеяние электронов проводимости, их подвижность падает. Применение гетероструктурных HEMT позволяет избежать этого нежелательного эффекта. GaN HEMT представляет собой один из типов полевых транзисторов, имеющих великолепные высокочастотные характеристики. Он состоит из нескольких слоев и трех контактов: истока, стока и затвора (см. рисунок). При подаче напряжения между истоком и стоком через устройство начинает течь ток, который управляется напряжением затвора. Напряжение затвора, которое необходимо приложить, чтобы ток перестал течь, определяет напряжение отсечки. При нулевом напряжении затвора на гетеропереходе AlGaIn-GaN будет присутствовать потенциал. Под слоем AlGaIn формируется очень тонкий слой



двумерного электронного газа. Его толщина составляет несколько нанометров. Этот слой называют "каналом проводимости", через который электроны перемещаются от истока к стоку. Особенность слоя проводимости - в силу специфики гетероперехода электроны оказываются в потенциальной энергетической яме, где нет примесных центров рассеяния. Поэтому в тонком канале электроны имеют очень высокую подвижность, что обеспечивает прекрасные высокочастотные характеристики транзистора.

Еще одна особенность GaN HEMT - запрещенная зона нитрида галлия гораздо больше, чем у таких традиционных полупроводниковых материалов, как кремний и арсенид галлия. Это обуславливает выдающиеся мощностные характеристики GaN-транзисторов.

После краткого экскурса в принципы функционирования GaN HEMT может возникнуть совершенно очевидный вопрос: а что нового дает применение материала GaN в HEMT? В чем особенности его реализации?

Основным достоинством GaN является то, что этот материал имеет жесткую кристаллическую структуру. За счет этого он чрезвычайно устойчив к механическим, термическим и электромагнитным воздействиям. Такая структура на начальном этапе развития технологии была очень сильным сдерживающим фактором, поскольку выращивание кристаллов GaN было дорогостоящим и длительным. Однако в процессе совершенствования производства GaN HEMT были разработаны более экономичные технологии их выращивания.

GaN HEMT в усилителях мощности

Разработка усилителей мощности с использованием GaN HEMT открывает новые перспективные возможности и является серьезным прорывом в индустрии спутниковых систем. Уникальные свойства материала позволяют достичь существенно лучших результатов, чем при использовании традиционного GaAs. Это связано с тремя основными особенностями GaN:

- высокое напряжение пробоя (до 200 В) позволяет транзистору работать с напряжением питания 50–80 В, за счет чего существенно увеличивается КПД системы. Более того, это приводит к увеличению входного и выходного сопротивления и существенному упрощению цепей согласования;
- высокая плотность мощности дает возможность существенно увеличить коэффициент усиления

и выходную мощность транзистора. Результат этого - существенное снижение количества усилительных каскадов и уменьшению габаритов устройств;

- рабочая температура выше 200°C и повышенная устойчивость к радиации. Это один из самых важных критериев, который позволил добиться качественного рывка. GaAs устойчиво функционирует при температурах не более 100°C, а использование GaN позволяет существенно упростить задачу теплоотвода, что очень актуально для высокомошных усилителей.

Более того, GaN HEMT показывают лучшую линейность в сравнении с GaAs и очень низкие фазовые шумы, что чрезвычайно важно для применения модуляций высокого порядка. Лабораторные испытания и опыт эксплуатации показали, что линейность GaN выше, чем GaAs, до 2 дБ при работе в одночастотном режиме и до 1,5 дБ в многочастотном режиме.

GaN-усилители мощности Advantech Wireless

На ранних стадиях развития технологии GaN HEMT специалисты Advantech Wireless осознали огромный потенциал новых типов устройств для технологии спутниковой связи. В конце 2006 года компания начала амбициозную программу исследований и разработок, целью которой было создание дизайна и производства принципиально новых усилителей мощности и преобразователей частоты для C-, X- и Ku-диапазонов с использованием GaN HEMT. В партнерстве с ведущими производителями электронных компонентов инженеры Advantech сфокусировали свое внимание на переходе технологии на более высокие частоты, достижении большей эффективности работы устройств, снижении энергопотребления, достижении большей компактности для удовлетворения самым жестким требованиям приложений систем спутниковой связи и вещания.

В марте 2010 года вышла первая коммерческая версия усилителей мощности на базе GaN HEMT. Сегодня Advantech является единственным в мире производителем, который предлагает GaN-усилители мощности в широком диапазоне - от 25 Вт до 2,5 кВт (Ku-диапазон) и от 25 Вт до 6 кВт (C-диапазон). В марте 2013 года компания анонсировала уникальное решение для высокомошных усилителей, предназначенных для мощных телепортов, перекрывающее полностью весь частотный диапазон (C, X, Ku) и показывающее лучшие параметры по линейности, КПД и занимаемой площади.

Несмотря на скептические высказывания в адрес GaN HEMT, которые звучали 10 лет назад, а иногда звучат и сегодня из уст некоторых производителей, эта технология уже прочно заняла свое место на рынке спутниковых систем. Сегодня GaN-усилители мощности не только вытесняют с рынка ЛБВ, но также оказывают серьезную конкуренцию GaAs за счет более компактного дизайна и небольшого веса, низкого энергопотребления, расширенного температурного диапазона, высокой надежности и самой высокой в индустрии линейности.

Благодаря повышенной устойчивости к радиации, GaN-усилители мощности уже сейчас готовы

вытеснить ЛБВ из сегмента усилителей мощности сигналов искусственных спутников Земли – раньше подобное было просто невозможным! Это даст возможность улучшить энергетические параметры спутника на 5–10 дБ, что позволит работать абонентским терминалам с антеннами существенно меньшего диаметра и сделает качественный скачок в спутниковом широкополосном доступе в Интернет. Более того, использование GaN дает уникальную возможность перекрыть весь диапазон передачи ИСЗ одним устройством без разделения на транспондеры и без защитных интервалов, необходимых вследствие ограниченной линейности ЛБВ. GaN-усилители мощности – это идеальное решение для спутников нового поколения. ■

HUGHES РАСШИРЯЕТ СПЕКТР УСЛУГ КА-ДИАПАЗОНА

Компания Hughes Network Systems, ведущий мировой поставщик решений и услуг в области широкополосных спутниковых систем, провела 16-й ежегодный семинар в Москве, посвященный технологиям широкополосной спутниковой связи. Представители Hughes провели анализ российского и мирового рынка спутниковых технологий и представили участникам семинара новейшие разработки компании на базе технологической платформы Ка-диапазона JUPITER™ последнего поколения. Семинар посетили более 100 руководителей и высокопоставленных сотрудников телекоммуникационных компаний, операторов связи, представителей государственных учреждений и СМИ.

В рамках семинара были представлены два новых спутниковых модема-маршрутизатора Ка-диапазона: HN9600 и HN9800, построенных на базе технологий JUPITER. Эти же технологии лежат в основе высокоскоростной спутниковой сети четвертого поколения HughesNet в США, крупнейшей в мире спутниковой сети для частных пользователей, обслуживающей примерно 700 тыс. абонентов при скоростях загрузки до 15 Мбит/с на пользователя. Согласно последнему отчету COMSYS, Hughes сохраняет лидирующие позиции на мировом рынке широкополосных спутниковых систем и услуг. На сегодняшний день в России и СНГ, стратегически важном для Hughes регионе, компания осуществила поставку свыше 50 тыс. широкополосных терминалов, что составляет более 50% доли регионального рынка.

"Компания Hughes стояла у истоков высокоскоростных спутниковых технологий и услуг и доказала их жизнеспособность на рынке частных

пользователей, – заявил вице-президент и генеральный менеджер Hughes в России и СНГ д-р Арунас Слекис (Dr. Arunas Slekyus). – Мы рады возможности представить наши последние разработки в России как раз в тот момент, когда страна готовится запустить несколько спутников Ка-диапазона, и продемонстрировать технологии, позволяющие обеспечить надежный и недорогой высокоскоростной доступ к богатому медиаконтенту Интернета для огромного числа пользователей, проживающих на территориях, не охваченных или недостаточно обслуживаемых наземными средствами связи".

Компания также уделила внимание инновациям будущего, включая ранее объявленные планы по запуску в середине 2016 года спутника JUPITER 2/EchoStar XIX с пропускной способностью более 150 Гбит/с, который обеспечит дальнейший рост сети широкополосного спутникового Интернета HughesNet в Северной Америке.

В заключение глава представительства Hughes в России и СНГ Константин Ланин отметил: "Главную задачу семинара мы видим в том, чтобы предоставить возможность нашим многочисленным и успешным партнерам из числа операторов широкополосных спутниковых услуг обменяться полезным для всех опытом. Представленные сегодня технологии, при поддержке опытных технических специалистов московского офиса Hughes, обеспечат их дальнейший успех в развитии спутниковых услуг связи".

*Информация предоставлена
Hughes Network Systems*