

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ GaN HEMT в системах спутниковой связи и вещания

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

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

Немного истории

Полупроводниковые транзисторы получили широкое распространение в системах спутниковой связи в 70-х годах 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 (TWTА). 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 TWTА. Однако, несмотря на все свои

очевидные преимущества, GaAs-усилители мощности не смогли полностью вытеснить с рынка TWTА, 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 TWTА. 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. Для решения этой задачи применяются несколько методов. 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 кристаллов политипа 4Н

Кристалл	Ширина запрещенного слоя, эВ	Критическое поле, мВ/см	Термическая проводимость, Вт/см×К	Мобильность электронов, см ² /В	Скорость насыщения, см/с×10 ⁷	ε
SiC	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 (НЕМТ). Она позволила добиться существенного улучшения параметров GaAs НЕМТ, 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 GaAs и Si. 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°С.

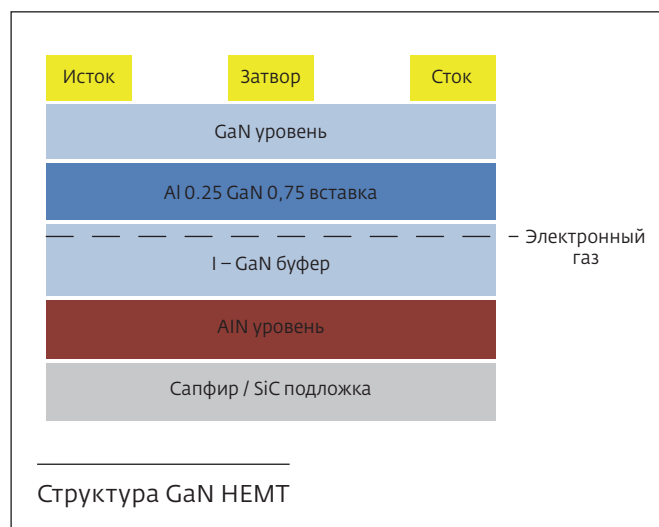
За последние 10 лет разработка GaN НЕМТ прошла большой цикл, и сегодня на рынке доступны транзисторы для различных приложений и различной мощности. Эти усилители начали интенсивно применяться во многих решениях, таких как системы спутниковой связи и вещания, военные радары, системы мобильной связи. По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

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О GaN НЕМТ

Сегодня технология НЕМТ широко применяется для СВЧ-устройств высокой мощности. Традиционные НЕМТ-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 НЕМТ-транзисторов за счет своих уникальных физических и электрических свойств. В таблице приведены основные параметры материалов, применяемых для изготовления СВЧ-транзисторов.

Основным недостатком классических GaAs-транзисторов является наличие примесей, которые призваны повысить подвижность электронов. При движении электроны сталкиваются с этими примесями, и их подвижность падает. Применение НЕМТ позволяет избежать этого нежелательного эффекта. НЕМТ представляет собой один из типов полевых транзисторов, имеющих великолепные высокочастотные характеристики. Он состоит из нескольких уровней, выращиваемых друг над другом, и трех контактов, прикрепленных к поверхности: 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 двухмерный поток электронов. Это очень тонкий уровень, в котором электроны собираются с минимальной энергией, его толщина составляет несколько нанометров. Этот уровень получил название «канала проводимости», через который электроны перемещаются от истока к стоку. Поскольку этот уровень очень тонкий, электроны перемещаются только в двух измерениях, а не по вертикали. В противном случае электроны бы покидали минимальный энергетический уровень. Этот поток электронов получил название «двухмерного электронного газа». Внутри тонкого слоя электроны имеют очень высокую подвижность, что дает прекрасные высокочастотные характеристики. Гетеропереход AlGaIn-GaN требует особого внимания из-за своих полей поляризации. AlGaIn HEMT не требует n+-обогащенного верхнего уровня, который используется в GaAs. Поскольку поля поляризации оказываются достаточно мощными, они сами могут обеспечить большое количество электронов в переходе.

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. Это приводит к существенному снижению 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 высокомоощных 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 г. компания начала амбициозную программу исследований и разработок, целью которой было создание дизайна и производства принципиально новых усилителей мощности и преобразователей частоты для S-, 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, достижениях большей эффективности работы устройств, снижении энергопотребления, достижениях большей компактности для удовлетворения самым жестким требованиям приложений систем спутниковой связи и вещания.

В марте 2010 г. 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 (С-диапазон). В марте 2013 г. компания анонсировала уникальное решение для высокомошных усилителей, предназначенных для мощных телепортов, перекрывающее полностью весь частотный диапазон (С, X, Ku) и показывающее лучшие параметры по линейности, КПД и занимаемой площади.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на скептические высказывания в адрес GaN HEMT, которые звучали 10 лет назад и иногда звучат 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 TWTA, 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 TWTA из сегмента усилителей мощности сигналов искусственных спутников земли – раньше подобное было просто невозможным! Это даст возможность улучшить их 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 TWTA. GaN-усилители мощности – это идеальное решение для спутников нового поколения. ■