

ИСТОЧНИК:

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА-2015. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ И МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ МОДУЛИ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ
сборник докладов Международной конференции. 2016
Издательство: Рекламно-издательский центр "ТЕХНОСФЕРА" (Москва)

КОНФЕРЕНЦИЯ:

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ "МИКРОЭЛЕКТРОНИКА-2015. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ И МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ МОДУЛИ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ"

Алушта, Крым, 28 сентября-03 октября 2015 г.

Организаторы: Министерство промышленности и торговли РФ, Межведомственный совет главных конструкторов по электронной компонентной базе, «Ростех», АО «Российская электроника», АО «НИИМА «Прогресс», ОАО «НИИМЭ и Микрон», НИУ МИЭТ

Мощные GaN-транзисторы для применения в модулях L- и S-диапазона мобильных средств связи.

Дикарев Владимир Иванович заместитель начальника отдела,

ОАО «НИИЭТ» ул. Старых Большевиков, д.5, 394033, г. Воронеж, www.niiet.ru

Кожевников Владимир Андреевич кандидат технических наук, начальник отдела,

ОАО «НИИЭТ» ул. Старых Большевиков, д.5, 394033, г. Воронеж, www.niiet.ru

Красовицкий Дмитрий Михайлович кандидат химических наук, главный конструктор

ЗАО «Светлана-Рост», www.svetlana-rost.ru, 194156, г. Санкт-Петербург, пр.Энгельса, 27,

Тарасов Сергей Викторович инженер-технолог 1 категории

ОАО «НИИЭТ» ул. Старых Большевиков, д.5, 394033, г. Воронеж, www.niiet.ru

Цоцорин Андрей Николаевич кандидат физико-математических наук, начальник лаборатории,

ОАО «НИИЭТ» ул. Старых Большевиков, д.5, 394033, г. Воронеж, www.niiet.ru

Чалый Виктор Петрович кандидат физико-математических наук, генеральный директор

ЗАО «Светлана-Рост», www.svetlana-rost.ru, 194156, г. Санкт-Петербург, пр.Энгельса, 27,

Аннотация: в статье представлены результаты измерений отечественных нитрид галлиевых транзисторов. Проведен сравнительный анализ отечественных транзисторов с зарубежными аналогами. При создании структур кристаллов мощных СВЧ транзисторов были проработаны различные конструктивные варианты.

Ключевые слова: GaN, транзистор, конструкция, технология

Введение

Мощные нитрид галлиевые СВЧ транзисторы в настоящее время все более востребованы в качестве современной компонентной базы для применения в перспективных системах связи и радиолокации.

ОАО «НИИЭТ» совместно с ЗАО «Светлана-Рост» выполнили исследования по созданию конструкции и базовой технологии экспериментальных образцов мощных СВЧ GaN НЕМТ транзисторов для применения в L- и S-диапазоне.

Эпитаксиальные гетероструктуры выращивались методом молекулярно-лучевой эпитаксии с использованием аммиака в качестве источника азота на установке STE3N2 SemiTEq (Россия) на подложках SiC (001) диаметром 2 дюйма [1,2,3]. Параметры выращенных гетероструктур контролировались при помощи оптической высокоразрешающей микроскопии и бесконтактного измерения эффекта Холла.

Для формирования кристаллов мощных GaN транзисторов использован технологический процесс, построенный на операциях, включающих в себя циклы формирования омических контактов методом электронно-лучевого напыления Ti/Al/Ni/Au и быстрого термического отжига, плазмохимического травления меза-изоляции, формирования затворной металлизации с проектной нормой 0.5 мкм путем последовательного выполнения контактной УФ-литографии и электронно-лучевого напыления Ni/Au. Пассивация транзисторных структур осуществлялась путем плазмохимического осаждения SiNx. При создании структур кристаллов мощных СВЧ транзисторов были проработаны различные конструктивные варианты. В том числе, реализованы блок формирования двухуровневой металлизации, позволившей сформировать многопальцевые затворы с «воздушными мостами» (air bridge) и полевые электроды (field plate), а также блок формирования сквозных металлизированных отверстий (via-holes) как за пределами активной области OSV (outside source via), так и в активной области транзисторной ячейки ISV (Inside source via) [4,5]. Межоперационный контроль параметрического монитора (PCM- process control monitor) и выходной контроль электрических параметров транзисторных кристаллов на пластине проводились на полуавтоматическом измерительном стенде на основе микрозондовой станции Cascade MicroTech и измерительном оборудовании фирмы Agilent.

На основе разработанного технологического процесса изготовлены нитрид галлиевые транзисторы ТНГ103104-12 и ТНГ103110-12, соответственно, с выходной мощностью 4 Вт и 10 Вт для применения в L- и S-диапазоне частот. Ширина затвора транзисторов ТНГ103104-12 составляла 5.6 мм, транзисторов ТНГ103110-12

- 12.6 мм. Следует отметить, что пиковая удельная мощность транзисторов в использованном варианте технологии, измеренная на пластине на тестовых СВЧ-транзисторах малой периферии, достигает 3,8-4,4 Вт/мм при напряжениях питания до 28В. Однако, на данном этапе исследований, для обеспечения надежности измерений кристаллов мощных транзисторов, был намеренно применен конструкционно-технологический запас. Установлено, что основным фактором, ограничивающим эффективное суммирование мощности в приборах большой периферии, на данном этапе стало последовательное уменьшение пробивного напряжения затворов по мере выполнения технологических операций блока формирования воздушных мостов. Так, в приборах малой периферии пробивные напряжения после затворного цикла составляли не менее 80 В, в то время как в кристаллах большой периферии эти значения падали до 35-50В. В настоящее время проводится оптимизация технологии, уже позволившая увеличить пробивные напряжения до 100-120В на малых транзисторах и до 60-70В на транзисторах большой периферии. Еще одним резервом повышения рабочих напряжений транзисторов является оптимизация конструкции field plate, которая на данном этапе исследования не проводилась.

Монтаж транзисторных кристаллов ТНГ103104-12 и ТНГ103110-12 осуществлялся в металлокерамический корпус КТ-55С-1 при помощи серебросодержащего клея, полученный теплоотвод признан достаточным для данного уровня удельной мощности. Внешний вид транзисторов со снятой крышкой представлен на рисунках 1 и 2.

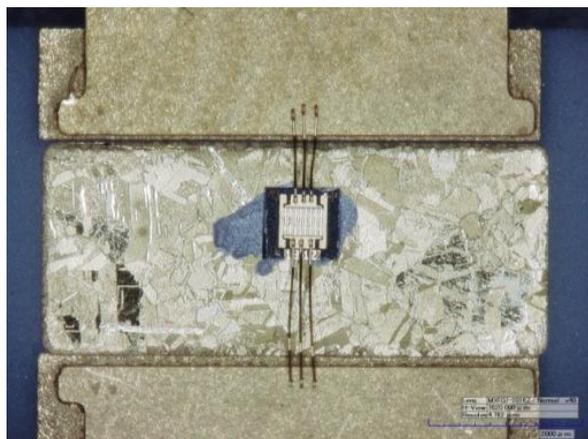


Рисунок 1. Внешний вид транзистора ТНГ103104-12

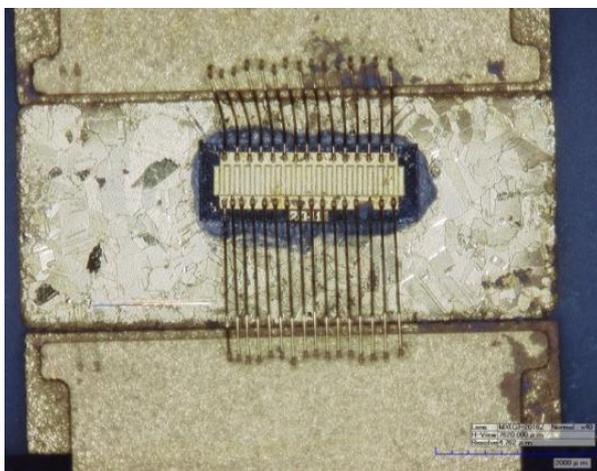


Рисунок 2. Внешний вид транзистора ТНГ103110-12

При помощи стенда для проведения Source и Load Pull измерений мощных СВЧ -транзисторов были исследованы электрические параметры транзисторов. Измерения проводились в непрерывном режиме на частотах 1500, 2000, 2700, 2900 и 3100 МГц при напряжении питания 12.5 В. Данные измерения транзисторов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты измерения транзисторов

Тип транзистора	$P_{\text{ВЫХ}}$, Вт	f , МГц	$K_{\text{УР}}$, дБ	η_c , %	$U_{\text{ПИТ}}$, В
ТНГ103104-12	3.3	1500	15	48	12.5
	3.7	2000	14	45	
	3.7	2700	11	43	
	3.7	2900	11	40	
	3.7	3100	11	40	

Тип транзистора	$P_{\text{ВЫХ}}$, Вт	f , МГц	$K_{\text{УР}}$, дБ	$\eta_{\text{С}}$, %	$U_{\text{ПИТ}}$, В
ТНГ103110-12	11	1500	13	45	12.5
	11	2000	11	42	
	10	2700	10	40	
	10	2900	10	40	
	10	3100	10	40	

В целях оценки полученных результатов был проведен сравнительный анализ электрических параметров нитрид галлиевого транзистора ТНГ103104-12, разработанного ОАО «НИИЭТ», и зарубежного транзистора TGF2023-02 фирмы TriQuint (США). Для корректного сопоставления результатов анализа электрических параметров транзисторов измерения проводились в одинаковых условиях (режим работы – непрерывный, $f = 2000$ МГц, $U_{\text{ПИТ}} = 12.5$ В). Результаты измерений приборов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Электрические параметры приборов

Наименование параметра	TGF2023-02 ф. TriQuint	ТНГ103104-12
L_3 , мкм	0.25	0.5
W_3 , мм	2.5	5.6
Размер кристалла, мм	0.82x0.92	0.9x0.9
$R_{\text{СИ}}$, Ом	0.83	0.6-0.8
Крутизна	0.84	0.77
$I_{\text{С}}$, мА	250	200-250
$P_{\text{ВЫХ}1 \text{ дБ}}$, ($f=2$ ГГц, $U_{\text{ПИТ}}=12.5$ В, $I_{\text{С}}=0.2$ А), Вт	3.5	3.7
$P_{\text{ВЫХ}3 \text{ дБ}}$, ($f=2$ ГГц, $U_{\text{ПИТ}}=12.5$ В, $I_{\text{С}}=0.2$ А), Вт	4	≈ 5
$\eta_{\text{С}1 \text{ дБ}}$, ($f=2$ ГГц, $U_{\text{ПИТ}}=12.5$ В, $I_{\text{С}}=0.2$ А), %	52.9	43
$\eta_{\text{С}3 \text{ дБ}}$, ($f=2$ ГГц, $U_{\text{ПИТ}}=12.5$ В, $I_{\text{С}}=0.2$ А), %	57	48
$K_{\text{УР}1 \text{ дБ}}$, ($f=2$ ГГц, $U_{\text{ПИТ}}=12.5$ В, $I_{\text{С}}=0.2$ А), дБ	20.4	15.6
$K_{\text{УР}3 \text{ дБ}}$, ($f=2$ ГГц, $U_{\text{ПИТ}}=12.5$ В, $I_{\text{С}}=0.2$ А), дБ	18.4	13.6
Вид межсоединений истоковых шин	OSV (outside source via) & Air Bridge	OSV (outside source via) & Air Bridge

В результате выполненных исследований:

1. Разработана конструкция и базовая технология создания мощных нитрид галлиевых транзисторов для применения в L- и S-диапазонах частот.
2. Продемонстрирована пригодность отечественных гетероструктур с двойным электронным ограничением для создания мощных СВЧ-устройств с большой (более 10мм) периферией.
3. Реализован технологический процесс, включающий в себя формирование всех конструктивных элементов, необходимых для проектирования мощных СВЧ-устройств, в том числе - усиленной многоуровневой металлизации и сквозных металлизированных отверстий.
4. Полученные экспериментальные GaN транзисторы в исследованных режимах по основным эксплуатационным параметрам соответствуют зарубежному техническому уровню.
5. Определены направления оптимизации конструкции и технологии экспериментальных GaN транзисторов с целью адаптации их характеристик с рабочими режимами ЭКБ в используемых и перспективных типах РЭА.

Литература

- [1] С.Б. Александров и др. // ФТП. 2004. том 38. с. 1275-1279.
- [2] В.В. Волков и др. // Письма в ЖТФ. 2004. том 30. с. 63-67.
- [3] Патент РФ N2222845 от 01.04.03.
- [4] А. Алексеев, Д. Красовицкий, С. Петров, В. Чалый. Компоненты и Технологии, 2, 106 (2008).
- [5] Д. Красовицкий и др., Тезисы докладов девятой Всероссийской конференции «Нитриды галлия, индия и алюминия- структуры и приборы», г. Москва, 13 – 15 июня 2013 г., с. 65.

Powerful GaN-transistors for application in L and the S-range of mobile vehicles for communication

TARASOV SERGEY VIKTOROVICH¹, TSOTSORIN ANDREY NIKOLAEVICH¹, KOZHEVNIKOV VLADIMIR ANDREEVICH¹, DIKAREV VLADIMIR IVANOVICH¹, CHALY VICTOR PETROVICH², KRASOVITSKIY DMITRIY MIHAILOVICH²

¹ Research Institute of Electronic Engineering, JSC, 5 Starykh Bolshevikov str., 394033, Voronezh, Russia

² Svetlana-Rost, CJSC, 194156 St.Petersburg, Russia, 27 Engels avenue

Results of measurements domestic nitride of gallium transistors are presented in article. The comparative analysis of domestic transistors with foreign analogs is carried out. At creation of structures of crystals of powerful microwave ovens of transistors various constructive options were worked.