

В. В. Груздов¹, Ю. В. Колковский¹¹ АО «Научно-производственное предприятие «Пульсар»»

НИТРИД-ГАЛЛИЕВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье рассмотрены результаты разработки СВЧ-транзисторов, которые будут использоваться в электронных блоках для спутниковых систем. Рассмотрены преимущества использования нитрид-галлиевых технологий в приемно-передающих модулях РЛС с АФАР космического назначения.

Ключевые слова: нитрид-галлиевые СВЧ-транзисторы, приемно-передающие модули для активной фазированной антенной решетки космического назначения.

Основные преимущества использования новых технологий

Новые технологии позволяют реализовать ЭКБ на взаимодополняющих новых полупроводниковых материалах: нитриде галлия и кремнии-германии, причем СВЧ-устройства создаются на нитриде галлия (более 80% аппаратуры РЛС с АФАР), а функционально-сложные СВЧ-устройства и цифровые блоки – на кремнии-германии [1]. При этом специализированная ЭКБ создается из функционально законченных подсистем – СВЧ интегрированных функциональных модулей [2, 3].

Технологии создания СВЧ GaN мощных усилительных приборов обеспечивают: по сравнению с Si-технологиями большой рабочий диапазон частот (до 100 ГГц), большую мгновенную полосу рабочих частот (до нескольких октав), а по сравнению

с технологиями на GaAs – большее рабочее напряжение питания (28–45 В), КПД (не менее 50%), более высокую удельную выходную мощность (до 12 Вт/мм), что позволяет реализовывать СВЧ-модули с рекордными мощностными характеристиками [4–7].

Реализация преимуществ новых материалов требует обеспечения основных технологических операций создания GaN СВЧ-транзисторов (рис. 1) новейшим современным технологическим оборудованием (рис. 2), образующим единый технологический процесс, основные технологические операции которого контролируются физико-химическими и электрическими методами [8].

Реализация комплекса технологических и метрологических мероприятий позволяет разрабатывать и производить СВЧ-транзисторы, монокристаллы интегральные схемы и микромодули на GaN

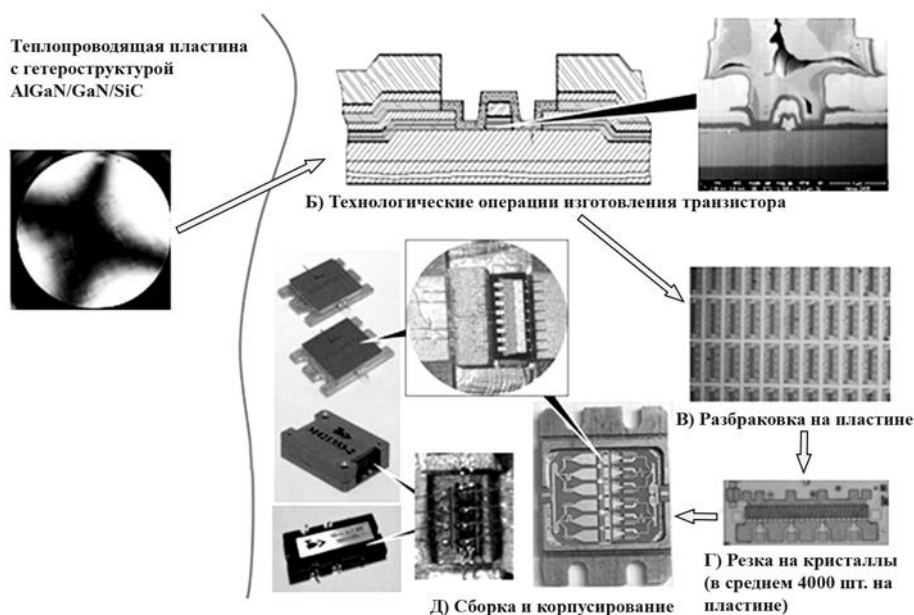


Рисунок 1. Основные технологические операции создания GaN СВЧ-транзисторов



Рисунок 2. Технологическое и испытательное оборудование, обеспечивающее требования по надежности нитрид-галлиевых приборов

(рис. 3), обеспечивающие требования по надежности, предъявляемые к СВЧ-аппаратуре.

СВЧ-приборы на нитриде галлия в условиях работы при использовании в космических системах при воздействии факторов космического пространства обладают наибольшими преимуществами по сравнению с приборами, созданными на основе других полупроводниковых материалов [9].

Сочетание высокого уровня радиационной стойкости с высокой импульсной мощностью и КПД (рис. 4) позволяют реализовывать ППМ для перспективных космических систем с характеристиками, превосходящими параметры существующей космической аппаратуры.

Важнейшим преимуществом использования нитрид-галлиевых технологий в приемниках РЛС с АФАР космического назначения является устойчивость нитрид-галлиевых малошумящих приборов к воздействию СВЧ-мощности [10], что позволяет снизить требования и уменьшить размеры устройств защиты приемных каналов ППМ от синхронных и асинхронных помех (рис. 5) [11].

Выводы

Представлены результаты использования нитрид-галлиевых приборов при создании аппаратуры

для радиоэлектронных систем, иллюстрирующие возможности, которые открываются при внедрении интегрированных многофункциональных СВЧ ППМ в АФАР космического назначения.

Разработанные приборы и модули позволяют:

- увеличить коэффициент полезного действия усилителей мощности ППМ с 25 до 55%;
- увеличить температуру активной области СВЧ-транзисторов на 50 °С, что позволит увеличить время непрерывной работы на витке в 3 раза;
- поднять уровень выходной мощности ППМ в 3 раза – до 20 Вт;
- обеспечить устойчивую работу приемных каналов ППМ при воздействии синхронных и несинхронных помех, существенно упростив и уменьшив размеры устройств защиты, что позволяет реализовать двухканальный приемник в размере одноканального приемника для реализации параллельного приема сигналов Н и V поляризации;
- повысить чувствительность приемного канала, увеличив энергетический потенциал РЛС на 50–70% (1,5–2 дБ) по сравнению с арсенид-галлиевыми прототипами.

	Наименование	Краткая характеристика	Номер ТУ Литера	Группа спец. стойкости
	6ПШ9108А, Б, В, Г	Мощный полевой транзистор S диапазона с $R_{вых} = 6, 12, 30$ и 60 Вт	АЕЯР.432150.616 «А»	7.И ₁ , 7.И ₆ , 7.И ₇ , 7.С ₁ , 7.С ₄ , 7.К ₁ , 7.К ₄
	6ПШ9107А, Б, В	Мощный полевой транзистор С диапазона с $R_{вых} = 5, 10$ и 25 Вт	АЕЯР.432150.615 «А»	7.И ₁ , 7.И ₆ , 7.И ₇ , 7.С ₁ , 7.С ₄ , 7.К ₁ , 7.К ₄
	6ПШ9106А, Б, В, Г	Мощный полевой транзистор Х диапазона с $R_{вых} = 5, 10, 25$ Вт	АЕЯР.432150.614 «А»	7.И ₁ , 7.И ₆ , 7.И ₇ , 7.С ₁ , 7.С ₄ , 7.К ₁ , 7.К ₄
	М42268-1,2,3,4	СВЧ МИС усилителей мощности С-, Х-, Ка-, Ку- диапазонов частот с $R_{вых} \geq 1,6$ Вт	АБУК.434810.034 «О ₁ »	
	М421350	Усилитель мощности в диапазоне частот от $0,9$ до 4 ГГц с $R_{вых} \geq 60$ Вт	АПНТ.438810.134 «О ₁ »	7.И ₁ , 7.И ₆ , 7.С ₂ , 7.С ₄
	М421342-1	Усилитель мощности в диапазоне от 4 до 8 ГГц с $R_{вых} \geq 5$ Вт	АБУК.434810.028 «О ₁ »	
	М421342-2	Усилитель мощности в диапазоне от 8 до 18 ГГц с $R_{вых} \geq 3$ Вт	АБУК.434810.028 «О ₁ »	
	М421351	Усилитель мощности в диапазоне от 4 до 12 ГГц с $R_{вых} \geq 10$ Вт	АПНТ.438810.135 «А»	7.И ₁ , 7.И ₆ , 7.И ₇ , 7.С ₂ , 7.С ₄
	М421353-1	Маломощный усилитель в диапазоне от 5 до 6 ГГц с $K_{ш} < 2$ дБ	АПНТ.434810.137 «А»	7.И ₁ -7.И ₈
	М421353-2	Маломощный усилитель в диапазоне от $9,5$ до 11 ГГц с $K_{ш} < 2,5$ дБ	АПНТ.434810.137 «А»	7.И ₁ -7.И ₈
	ППШ9104А	Мощный внутрисогласованный транзистор в диапазоне от $9,5$ до $10,7$ ГГц с $R_{вых} \geq 25$ Вт	АДКБ.432150.453 «О ₁ »	

Рисунок 3. Разработанные СВЧ-транзисторы, МИС и микромодули на GaN

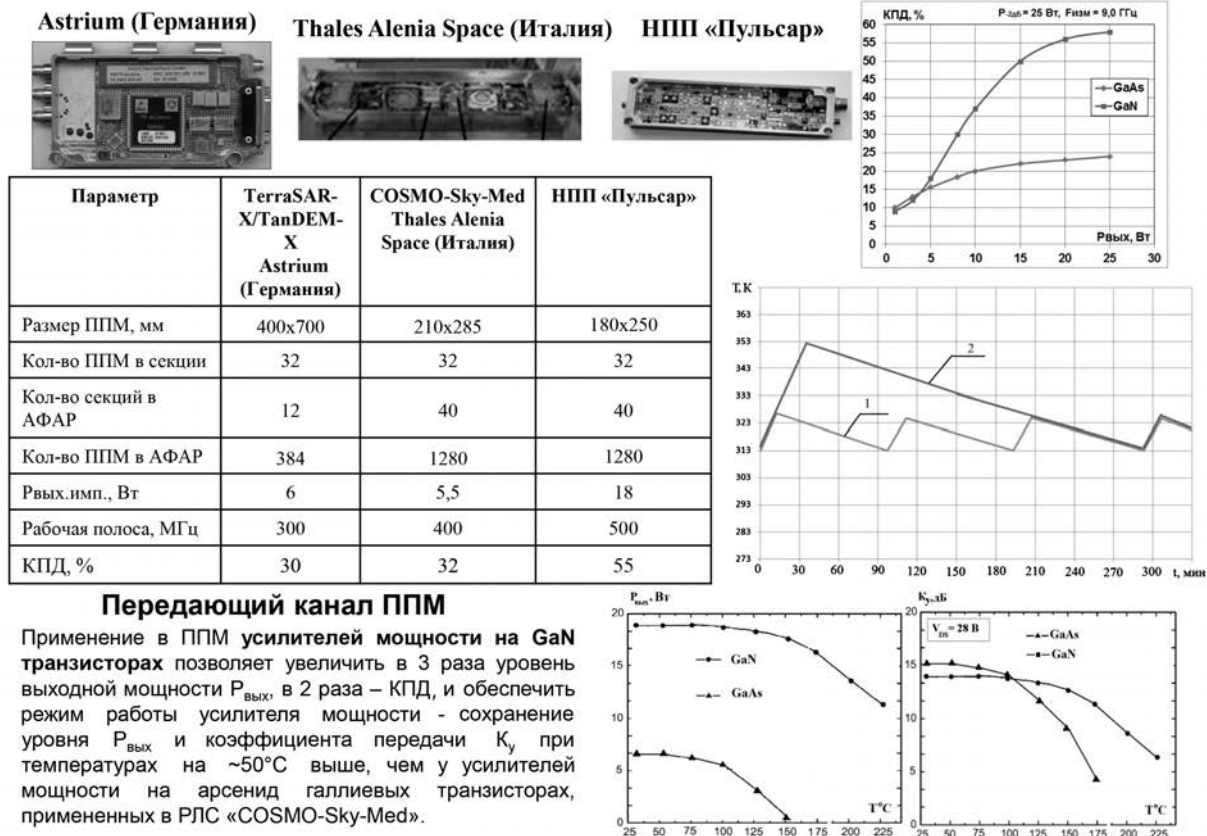


Рисунок 4. Сопоставление существующих и перспективных ППМ космического назначения

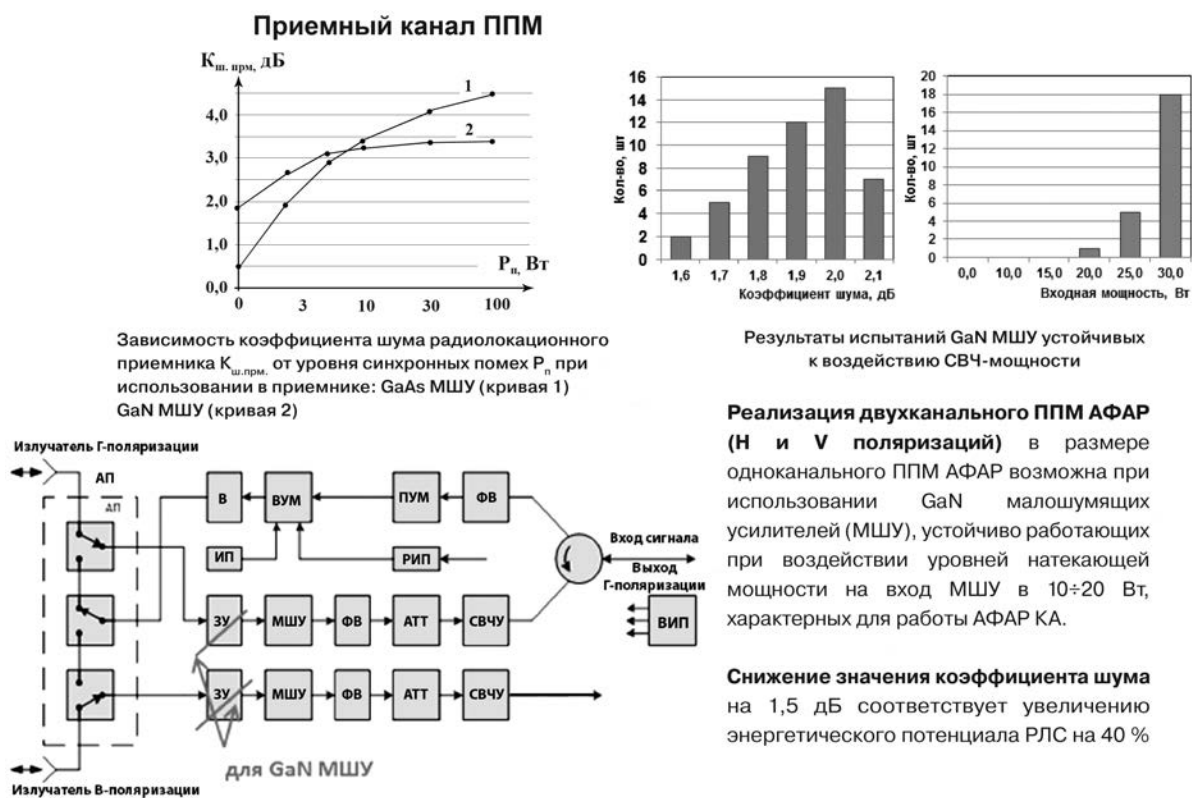


Рисунок 5. Преимущества использования нитрид-галлиевых технологий в приемниках РЛС с АФАР космического назначения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Груздов В.В., Колковский Ю.В. Новые нитрид-галлиевые технологии для РЛС с АФАР // Интеграл. 2015. № 1–2. С. 4–6.
- Груздов В.В., Колковский Ю.В., Миннебаев В.М. СВЧ-электроника на основе нитрида галлия – основное направление создания радиоэлектронных систем // Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. 2013. Вып. 2 (231). С. 88–101.
- Груздов В.В., Колковский Ю.В. Критические технологии – основное направление создания СВЧ радиоэлектронных систем // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА: материалы XIII научно-технической конференции, г. Дубна, 8–10 октября 2014 г., с. 7–9.
- Rudiger Quay, Gallium Nitride Electronics. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. 2008, 469 p.
- Qureshi J., Pelk M., Marchetti M. et al. A 90-W Peak Power GaN Outphasing Amplifier With Optimum Input Signal Conditioning // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 57, no. 8, August 2009, p. 1925.
- Кищинский А.А. Широкополосные транзисторные усилители мощности свч-диапазона – смена поколений // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2010. № 2.
- Борисов О.В., Иванов К.А., Колковский Ю.В. и др. Фазостабильный 200-ваттный GaN-усилитель мощности X-диапазона // Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. 2013. Вып. 1 (230). С. 31–36.
- Груздов В.В., Колковский Ю.В., Концевой Ю.А. Контроль новых технологий в твердотельной СВЧ-электронике. М.: Техносфера, 2016. 328 с.
- Колковский Ю.В., Миннебаев В.М. Применение GaN-устройств в условиях космического пространства // Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. 2014. Вып. 2 (233). С. 20–25.
- Перевезенцев А.В. Четырехканальный приемник X-диапазона на GaN- и SiGe-микросхемах // Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. 2011. Вып. 2 (227). С. 114–119.
- Герасимов А.О., Колковский Ю.В., Миннебаев В.М. и др. Шестиканальный ППМ для АФАР X-диапазона: приемный тракт // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА: материалы научно-технической конференции. М.: АО «НПП “Пульсар”». 2015. С. 163–164.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Груздов Вадим Владимирович, к.э.н., профессор, генеральный директор АО «НПП “Пульсар”», 105187, Москва, Окружной пр-д, д. 27, e-mail: gruzdov@pulsarnpp.ru.

Колковский Юрий Владимирович, д.т.н., профессор, заместитель генерального директора АО «НПП “Пульсар”» по научной работе, 105187, Москва, Окружной пр-д, д. 27, e-mail: kolk@pulsarnpp.ru.

NITRIDE AND GALLIUM ELECTRONICS FOR SPACE SYSTEMS

The article describes the results related to development of microwave transistors, which are to be used in electronic components for satellite systems. The advantages of facilitation of nitride and gallium technologies in receiving and transmitting modules of the radar with space purposes AFAR have been investigated.

Keywords: nitride-gallium microwave transistors, receiving and transmitting modules for active phased AESA designated for space purposes.

REFERENCES

1. Gruzlov V. V., Kolkovskiy Yu. V. Novye nitrid-gallievye tekhnologii dlya RLS s AFAR [New gallium nitride technology for radars with active electronically scanned array]. *Integral*, 2015, no. 1–2, pp. 4–6.
2. Gruzlov V. V., Kolkovskiy Yu. V., Minnebaev V. M. SVCh-elektronika na osnove nitrida galliya – osnovnoe napravlenie sozdaniya radioelektronnykh sistem [Microwave electronics based on gallium nitride – the main direction of the creation of electronic systems]. *Elektronnaya tekhnika. Ser. 2. Poluprovodnikovye pribory*, 2013, Issue 2 (231), pp. 88–101.
3. Gruzlov V. V., Kolkovskiy Yu. V. Kriticheskie tekhnologii – osnovnoe napravlenie sozdaniya SVCh radioelektronnykh sistem [Critical technologies – the basic direction of creation of microwave electronic systems]. *Tverdotel'naya elektronika. Slozhnye funktsional'nye bloki REA: materialy XIII nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, g. Dubna, 8–10 oktyabrya 2014*, pp. 7–9.
4. Rudiger Quay, Gallium Nitride Electronics. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. 2008, 469 p.
5. Qureshi J., Pelk M., Marchetti M. et al. A 90-W Peak Power GaN Outphasing Amplifier With Optimum Input Signal Conditioning. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 57, no. 8, August 2009, p. 1925.
6. Kishchinskiy A. A. Shirokopolosnye tranzistornye usiliteli moshchnosti SVCh-diapazona – smena pokoleniy [Broadband transistor power amplifiers of microwave spectrum – change of generations]. *Elektronika: Nauka, Tekhnologiya, Biznes*, 2010, no. 2.
7. Borisov O. V., Ivanov K. A., Kolkovskiy Yu. V. i dr. Fazostabil'nyy 200-vattnyy GaN usilitel' moshchnosti Kh-diapazona [Phase stable GaN200-watt power amplifier of spectrum X]. *Elektronnaya tekhnika, Ser. 2. Poluprovodnikovye pribory*, 2013, Issue 1 (230), pp. 31–36.
8. Gruzlov V. V., Kolkovskiy Yu. V., Kontsevoy Yu. A. Kontrol' novykh tekhnologiy v tverdotel'noy SVCh-elektronike [The control of new technologies in solid-state Highly frequency-electronics]. M.: Tekhnosfera, 2016, 328 p.
9. Kolkovskiy Yu. V., Minnebaev V. M. Primenenie GaN ustroystv v usloviyakh kosmicheskogo prostranstva [Application of GaN devices in space conditions]. *Elektronnaya tekhnika, Ser. 2. Poluprovodnikovye pribory*, 2014, Issue 2 (233), pp. 20–25.
10. Perevezentsev A. V. Chetyrekhkanal'nyy priemnik Kh-diapazona na GaN i SiGe mikroshemakh [Four channels receiver of X spectrum on GaN and SiGe microcircuit]. *Elektronnaya tekhnika, Ser. 2. Poluprovodnikovye pribory*, 2011, Issue 2 (227), pp. 114–119.
11. Gerasimov A. O., Kolkovskiy Yu. V., Minnebaev V. M. i dr. Shestikanal'nyy PPM dlya AFAR Kh-diapazona: priemnyy trakt [Six channels MRP for active phased antenna arrays of X-spectrum: receiving channel]. *Tverdotel'naya elektronika. Slozhnye funktsional'nye bloki REA: materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. M.: OAO «NPP "Pul'sar"», 2015*, pp. 163–164.

AUTHORS

Gruzlov Vadim, PhD (Economics), Professor, General Director of OJSC «NPP “Pulsar”», 27, Okruzhnoy proezd, Moscow, 105187, e-mail: gruzlov@pulsarnpp.ru.

Kolkovskii Yury, ScD (Engineering), Professor, Deputy General Director on Science of OJSC «NPP “Pulsar”», 27, Okruzhnoy proezd, Moscow, 105187, e-mail: kolk@pulsarnpp.ru.