

Силовые и СВЧ-транзисторы на основе нитрида галлия от АО «НИИЭТ»: доступные решения и перспективы

И. Семейкин, к. т. н.¹

УДК 621.382.3

В Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года нитрид-галлиевая (GaN) технология внесена в ключевое направление «Научно-техническое развитие». Эта технология – одна из наиболее перспективных в области создания силовой и СВЧ ЭКБ, и ее развитие в стране крайне важно со стратегической точки зрения.

В статье приводятся преимущества GaN-технологии для силовой и СВЧ-электроники, некоторые сведения об истории ее развития, текущем состоянии и перспективах, данные о возможностях и планах АО «НИИЭТ» (входит в Группу компаний «Элемент») по производству GaN-компонентов и характеристики ряда силовых и СВЧ-транзисторов разработки и производства предприятия.

ПРЕИМУЩЕСТВА, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ GaN-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СИЛОВОЙ И СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКИ

Снижение массогабаритных характеристик, а также энергопотребления электронных устройств остается одним из основных направлений развития электроники во всем мире. Наверное, этот факт наиболее заметен в сфере вычислительной техники, поскольку за миниатюризацией и энергоэффективностью процессоров внимательно следят не только профессионалы, но и многие пользователи компьютеров, планшетов, смартфонов. Однако данная тенденция проявляется и в других областях, таких как силовая электроника и СВЧ-техника, а учитывая развитие новых областей применения силовых и СВЧ-компонентов, в частности электротранспорта, приводных систем и робототехники, информационно-коммуникационных и навигационных систем, систем помощи водителю и беспилотного транспорта, где активно применяется радиолокация, и др., создание энергоэффективных и миниатюрных силовых и СВЧ-полупроводниковых приборов с высокими характеристиками становится крайне важным для обеспечения разработки востребованной радиоэлектронной аппаратуры необходимой ЭКБ.

Если в упомянутой вычислительной технике хотя и проводятся исследования в направлении применения новых материалов, но всё же продолжает доминировать

технология КМОП на кремнии, то в развитии силовой и СВЧ-электроники поиск и применение новых полупроводников в качестве основы дискретных компонентов и ИМС играет основную роль.

Хотя первый биполярный полупроводниковый транзистор, представленный в 1947 году, был германиевым, со временем лидирующие позиции практически во всех областях, включая силовую и СВЧ-электронику, занял кремний, обладающий низкой стоимостью, высокой технологичностью и вполне приемлемыми для своего времени характеристиками. Тем не менее, в определенных областях применялись и другие полупроводниковые материалы. Так, для изготовления СВЧ-транзисторов довольно давно используется арсенид галлия, отличающийся, в частности, высокой подвижностью зарядов, что важно для этой сферы применения.

Однако если говорить о мощных полупроводниковых приборах (в том числе СВЧ, необходимых в радарных системах, передатчиках систем связи и подобных изделиях), то как у кремния, так и у арсенида галлия имеются существенные ограничения, связанные прежде всего с такими параметрами, как ширина запрещенной зоны и критическая напряженность поля. Ширина запрещенной зоны влияет в первую очередь на достижимый диапазон рабочих температур транзистора, поскольку чем она больше, тем при более высоких температурах он способен сохранять свои параметры, а следовательно, будет способен работать с большими плотностями мощности при тех же эксплуатационных температурах. При использовании

¹ АО «НИИЭТ», технический директор.

полупроводникового материала с большей критической напряженностью поля транзистор с теми же габаритами может управлять более высоким напряжением.

Одним из так называемых широкозонных полупроводников, позволяющих преодолеть эти ограничения, является нитрид галлия (GaN). Этот материал обладает запрещенной зоной шириной 3,39 эВ, что втрое больше, чем у кремния, и более чем в два раза – чем у арсенида галлия. Его критическая напряженность поля составляет порядка 3,0–3,5 МВ/см, что превышает соответствующий параметр кремния на порядок и даже несколько больше, чем у другого перспективного широкозонного материала – карбида кремния (SiC). Нитрид галлия уступает GaAs по подвижности носителей заряда: эта характеристика у него сравнима с кремнием, однако по дрейфовой скорости насыщения электронов – одной из самых важных характеристик для материала СВЧ-транзисторов – GaN превосходит кремний в 2–3 раза и примерно на 30% – арсенид галлия.

Таким образом, GaN оказывается подходящим материалом для создания прежде всего силовых и мощных СВЧ-транзисторов, обладающих лучшими частотными свойствами, чем кремниевые, и более высоковольтными характеристиками, чем арсенид-галлиевые приборы, что в сочетании с большей стабильностью при воздействии внешних факторов, в частности, позволяет разрабатывать на его основе более миниатюрные силовые и СВЧ-устройства.

Идея применять этот материал для создания электронных компонентов – не новая. Нитрид галлия был синтезирован еще в 1932 году, а 37 годами позже, в 1969-м, было сообщено о выращивании монокристаллической пленки GaN [1]. В начале 1970-х стали создаваться первые светодиоды на основе нитрида галлия, что подогрело интерес к данному материалу и придало импульс исследованиям в области технологий создания GaN-приборов. Значимым событием стало создание ярких синих, а также ультрафиолетовых светодиодов в начале 1990-х, что со временем позволило реализовать на полупроводниках полную триаду «красный – зеленый – синий» для построения цветных дисплеев и сделать осветительные светодиоды, которыми мы сейчас пользуемся в том числе в быту.

Тем не менее перспективы применения GaN в качестве материала для транзисторов долгое время оставались неясными из-за отсутствия собственной подложки и сложности создания эпитаксиальных структур с малым числом дефектов. Так, в работе 1999 года [2] авторы выделяют наличие собственной подложки с диаметром более одного дюйма как одну из характеристик при сравнении полупроводников для силовой электроники. В то время по этому параметру GaN проигрывал как кремнию и арсениду галлия, так и таким материалам, как 6H-SiC, 4H-SiC, GaP.

За прошедшее время была проделана большая работа по созданию собственных подложек GaN и эпитаксиальных структур на подложках из других материалов. В частности,

в работе 2016 года [3] сообщалось о выращивании объемных кристаллов GaN диаметром 52 мм и толщиной до 5 мм на реакторе собственного изготовления и предлагалась технология клонирования кристаллов, направленная на то, чтобы сделать собственные GaN-подложки коммерчески эффективными.

Среди гетероструктур следует отдельно упомянуть так называемую технологию нитрида галлия на кремнии (GaN-Si), в которой эпитаксиальный слой GaN выращивается на кремниевой подложке с применением ряда буферных слоев, обеспечивающих согласование кристаллических решеток. Это сравнительно сложная технология, но она широко применяется в мире и обладает большими перспективами дальнейшего развития благодаря низкой стоимости материала подложки, возможности использования пластин большого диаметра, а также применения в постростовом производстве ряда оборудования, которое используется в «классических» линиях кремниевых полупроводниковых фабрик.

Таким образом, благодаря сочетанию высоких характеристик нитрида галлия и наличию технологий производства полупроводниковых приборов на его основе данный материал оказывается весьма перспективным, и его применение активно расширяется, что показывают данные исследований рынка. В частности, согласно исследованию RF GaN Market – Global Industry Analysis and Forecast (2024–2030), опубликованному в июне текущего года Maximize Market Research, рынок только РЧ-компонентов на основе GaN в 2023 году составил 1,27 млрд долл., и ожидается его рост до 4,61 млрд к 2030 году [4].

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЛАНЫ АО «НИИЭТ» В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА GaN-ТРАНЗИСТОРОВ

Воронежский Научно-исследовательский институт электронной техники (АО «НИИЭТ», входит в ГК «Элемент») стал одним из первых отечественных предприятий, обративших внимание на перспективы нитрида галлия в силовой и СВЧ-электронике. Работы в данной области ведутся институтом с 2012 года, и на сегодняшний день предприятие является единственным в стране серийным поставщиком мощных нитрид-галлиевых СВЧ- и силовых переключающих транзисторов собственной разработки, поставившим потребителям более 30 тыс. данных приборов.

В АО «НИИЭТ» организован полный цикл разработки GaN-приборов, а также цикл их производства, начиная с разделения пластин и заканчивая сборкой в металло-керамические и полимерные корпуса, выходным контролем и испытаниями.

Площадка по сборке компонентов в пластиковые корпуса в АО «НИИЭТ» – совсем новая. Инвестиции ГК «Элемент» в запуск производственной линии составили 790 млн руб., из которых 616 млн предоставил федеральный Фонд развития промышленности (ФРП)

Таблица 1. Основные характеристики мощных импульсных СВЧ-транзисторов на основе нитрида галлия

	Выходная импульс- ная мощ- ность, $P_{\text{ВыхИ}}$, Вт	Напря- жение питания, $U_{\text{СИ}}$, В	Макси- мально допустимое постоянное напряжение сток-исток, $U_{\text{СИ макс}}$, В	Коэффи- циент усиления по мощ- ности, $K_{\text{УР}}$, дБ	КПД стока, $\eta_{\text{с}}$, %	Диапазон частот, МГц	Диа- пазон рабочих темпера- тур, °С	Корпус
ПП9170А	200	50	150	13,5	55	До 2 700	-60 ... 125	КТ-55С-1
ПП9170Б	100		при $t_{\text{корп}} = 25\text{ °С}$	13		До 3 100		
ПП9170В	150			12				
ПП9170Г	50			12,5	50	До 4 000		
ПП9170Д	100			13	55			
ПП9170Е	50	45	120 при $t_{\text{корп}} = 25\text{ °С}$	14	56	6 000 ... 6 400		КТ-81С
6П9140А	400	50	130 при $t_{\text{корп}} = 25\text{ °С}$	13	60	До 1 600		КТ-81А-2
ТНГ270100-28	100	28	80 при $t_{\text{корп}} = 25\text{ °С}$	9		До 2 700		КТ-55С-1

в виде льготного займа по программе «Комплектующие изделия». Новые мощности создаются под корпусирование одной из наиболее перспективных разработок НИИЭТ – ультранизкопотребляющего микроконтроллера К1921ВГ015 с широкой сферой применения в медицине, бытовых счетчиках газа и электроэнергии, а также при автоматизации производства. Новая линия также предусматривает возможность сборки микроконтроллеров, микропроцессоров, преобразователей питания, интерфейсных интегральных микросхем, модулей усиления мощности, кремниевых и нитрид-галлиевых СВЧ-транзисторов в наиболее востребованных металлополимерных корпусах QFP, QFN, SOT, SOIC и TO. До конца 2025 года предприятие планирует корпусировать в пластик до 3,5 млн изделий в год, а проектная мощность линии предполагает серийное производство до 10 млн изделий в год. Это дает возможность обеспечить выпуск в металлополимерных корпусах продукции НИИЭТ для предприятий ГК «Элемент» и внешних заказчиков. Так, до 70% выпускаемого объема продукции в металлополимерных корпусах будет поставляться отечественным гражданским производителям электроники.

Кристалльное производство реализуется с учетом фаблесс-модели. При этом в 2023–2024 годах АО «НИИЭТ» в сотрудничестве с АО «Светлана-Рост» завершило

разработку серии полностью отечественных мощных СВЧ GaN-транзисторов, предназначенных для работы в S-диапазоне частот. Эти приборы представляют собой аналоги ряда зарубежных транзисторов фирмы Integra Technologies (США) и могут быть использованы для их импортозамещения. Выполнены данные приборы на основе транзисторных кристаллов производства АО «Светлана-Рост», изготавливаемых по инновационной НЕМТ-технологии нитрид галлия на карбиде кремния. Весь цикл их производства от выращивания SiC-подложки с эпитаксиальными слоями до герметизации корпуса проходит на территории РФ.

АО «НИИЭТ» планирует и создание постростового кристалльного производства по технологии нитрида галлия на кремнии на собственных площадях. База для этого уже создана: в 2021 году в результате выполнения федеральной целевой программы «Техническое перевооружение производства СБИС и мощных СВЧ транзисторов» были построены новые чистые производственные помещения, которые при определенном дооснащении могут быть использованы для изготовления GaN-Si кристаллов.

Проект планируется реализовать за счет собственных средств ГК «Элемент» и внешнего финансирования. Ожидается, что производство будет запущено в 2027 году,

Таблица 2. Основные характеристики мощных СВЧ-транзисторов непрерывного режима работы на основе нитрида галлия

	Тип	Выход- ная мощ- ность, $P_{\text{Вых}}$, Вт	Напря- жение пита- ния, $U_{\text{СН}}$, В	Макси- мально допустимое постоянное напряже- ние сток- исток, $U_{\text{СН макс}}$, В	Коэффи- циент усиления по мощ- ности, $K_{\text{ур}}$, дБ, мин.	КПД стока, $\eta_{\text{с}}$, %	Диа- пазон частот, МГц	Диа- пазон рабочих темпе- ратур, °С	Корпус		
ПП9136А	Несо- гласо- ван- ный	5	28	130 при $t_{\text{корп}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	16	50	До 6 000	-60 125	КТ-81С		
ПП9137А		10			12						
ПП9138А		15			11						
ПП9138Б		25			9					До 4 000	
ПП9139А1		50			10					КТ-55С-1	
ПП9139Б1		100			9						До 2 900
6П9141А1 / 6П9141АН5	Линей- ный	80			17	65	До 2 500	КТ-55С-3 / 6/к			
6П9141Б1 / 6П9141БН5		60			15		До 3 100				
6П9142А2 / 6П9142АН5		20			13		45		До 6 000	КТ-81С-2 / 6/к	
6П9142Б2 / 6П9142БН5		2			13,5		До 8 000				
6П9143А3 / 6П9143АН5		Согласо- ванный			30		12		35	7 700 8 700	
6П9143Б2 / 6П9143БН5					5		13		30		
6П9144А4 / 6П9144АН5	Несогла- сован- ный	0,5			6	20	До 12 000	КТ-52А-1 / 6/к			
6П9144Б4 / 6П9144БН5		0,12			7						
6П9145А2 / 6П9145АН5		5			13	45	До 4 000	КТ-81С-2 / 6/к			
6П9145Б2 / 6П9145БН5		10			10						
6П9145В2 / 6П9145ВН5		15									
6П9145Г2 / 6П9145ГН5		25			9						

Таблица 3. Характеристики силовых транзисторов на основе нитрида галлия на кремнии серии ТНГ-К

ТНГ-К 10030		
Предельно допустимые значения электрических режимов эксплуатации		
Максимально допустимое постоянное напряжение сток-исток, $U_{СИ\ макс}$, В	мин.	100
	реж.*	$U_{ЗИ} = 0\ В,$ $I_{СИ\ ут} = 25\ мкА$
Максимальный постоянный ток стока, $I_{С\ макс}$, А		30
Максимально допустимая температура перехода, $t_{П\ макс}$, °С		
Тепловое сопротивление переход-корпус транзистора, $R_{ТП-К}$, °С/Вт		
Электрические характеристики (при температуре среды 25 °С)		
Пороговое напряжение, $U_{Пор}$, В	мин.	1
	тип.	1,15
	макс.	2,7
	реж.*	$U_{СИ} = U_{ЗИ},$ $I_C = 4\ мА$
Ток утечки затвора, $I_{з\ ут}$, мкА	тип.	120
	макс.	300
	реж.*	
Начальный ток стока, $I_{С\ Нач}$, мкА	тип.	50
	макс.	100
	реж.*	$U_{ЗИ} = 6\ В,$ $U_{СИ} = 100\ В$
Сопротивление сток-исток в открытом состоянии, $R_{СИ\ Отк}$, МОм	тип.	70
	реж.*	$U_{ЗИ} = 6\ В,$ $I_{СИ} = 13\ А$
Входная емкость, C_{11} , пФ	тип.	286
	реж.*	$U_{СИ} = 100\ В,$ $U_{ЗИ} = 0\ В,$ $f = 1\ МГц$
Выходная емкость, C_{22} , пФ		144
Проходная емкость, C_{12} , пФ		6
Заряд затвора, Q_3 , нКл	тип.	6,8
	реж.*	
Заряд затвор – исток, $Q_{ЗИ}$, нКл		4,3
Заряд затвор – сток, $Q_{ЗС}$, нКл		1,7
Прочие параметры		
Диапазон рабочих температур, °С		
Корпус	металлокерамический	
	металлополимерный	

Примечание: *Режим измерений.

ТНГ-К 20020	ТНГ-К 20040	ТНГ-К 65005	ТНГ-К 65010	ТНГ-К 65020	ТНГ-К 65030	ТНГ-К 65050
200		650				
$U_{зи} = 0 В,$ $I_{СИ\ у\ м} = 30 мкА$	$U_{зи} = 0 В,$ $I_{СИ\ у\ м} = 35 мкА$	$U_{зи} = 0 В,$ $I_{СИ\ у\ м} = 6,5 мкА$	$U_{зи} = 0 В,$ $I_{СИ\ у\ м} = 14 мкА$	$U_{зи} = 0 В,$ $I_{СИ\ у\ м} = 35 мкА$	$U_{зи} = 0 В,$ $I_{СИ\ у\ м} = 50 мкА$	$U_{зи} = 0 В,$ $I_{СИ\ у\ м} = 80 мкА$
20	40	5	10	20	30	50
		150				
		0,5				
1	1	1	1	1	1	1
1,28	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
$U_{СИ} = U_{зи},$ $I_C = 3,5 мА$	$U_{СИ} = U_{зи},$ $I_C = 6 мА$	$U_{СИ} = U_{зи},$ $I_C = 1 мА$	$U_{СИ} = U_{зи},$ $I_C = 2,4 мА$	$U_{СИ} = U_{зи},$ $I_C = 4,8 мА$	$U_{СИ} = U_{зи},$ $I_C = 7 мА$	$U_{СИ} = U_{зи},$ $I_C = 12 мА$
160	210	20	30	60	120	180
350	400	200	210	120	400	500
$U_{зи} = 6 В, U_{СИ} = 0 В$						
70		40	57	40	10	200
140		140	170	250	150	800
$U_{зи} = 6 В,$ $U_{СИ} = 200 В$				$U_{зи} = 6 В,$ $U_{СИ} = 650 В$		
94	50	300	100	70	50	30
$U_{зи} = 6 В,$ $I_{СИ} = 14 А$	$U_{зи} = 6 В,$ $I_{СИ} = 16 А$	$U_{зи} = 6 В,$ $I_{СИ} = 1,2 А$	$U_{зи} = 6 В,$ $I_{СИ} = 3,2 А$	$U_{зи} = 6 В,$ $I_{СИ} = 6 А$	$U_{зи} = 6 В,$ $I_{СИ} = 9 А$	$U_{зи} = 6 В,$ $I_{СИ} = 16 А$
179	392	26	70	195,8	421,5	518
$U_{СИ} = 200 В,$ $U_{зи} = 0 В,$ $f = 1 МГц$				$U_{СИ} = 400 В,$ $U_{зи} = 0 В,$ $f = 1 МГц$		
79	166	7	20	55	107	126
3,7	6	1	2	2,8	2,4	8
5,4	10,3	0,8	2,2	6,9	12	14,2
$U_{зи} = 0 до 6 В, U_{СИ} = 50 В$				$U_{зи} = 0 до 6 В, U_{СИ} = 400 В$		
1,3	5,2	0,3	0,8	3,4	6,2	5,4
3,24	2,9	0,3	0,8	2	2,7	9
-55 ... 150						
КТ-93	КТ-94				КТ-95	
DFN8L (8×8 мм)	DFN8L (10×10 мм)					

а на проектную мощность (5,4 тыс. пластин диаметром 200 мм в год) выйдет в течение трех лет.

В сочетании с проводимыми в России работами в направлении промышленного производства эпитаксиальных структур нитрида галлия на кремнии реализация данного проекта откроет перспективы для полной локализации изготовления силовых транзисторов на основе GaN-Si в нашей стране.

МОЩНЫЕ СВЧ- И СИЛОВЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕ ТРАНЗИСТОРЫ АО «НИИЭТ» НА ОСНОВЕ НИТРИДА ГАЛЛИЯ

Линейка GaN-приборов АО «НИИЭТ» в сфере СВЧ-электроники включает, в частности, мощные транзисторы для импульсного и непрерывного режима работы, перекрывающие частоты L-, S-, C- и X-диапазонов. Транзисторы выпускаются как в металлокерамических корпусах, так и в бескорпусном исполнении и предназначены для применения прежде всего в усилителях мощности систем с повышенными требованиями к энергетическим характеристикам, в том числе в сфере информационных технологий и средствах связи.

В табл. 1 и 2 приведены основные характеристики ряда мощных СВЧ-транзисторов на основе нитрида галлия, выпускаемых АО «НИИЭТ».

Среди силовых переключающих GaN-транзисторов АО «НИИЭТ» следует особо выделить сравнительно новую серию приборов ТНГ-К, серийное производство которой стартовало весной 2023 года. Эти приборы выполнены по технологии нитрида галлия на кремнии и выпускаются как в металлокерамических, так и в пластиковых корпусах, что позволяет использовать их в том числе в устройствах для широкого гражданского рынка. Серия включает транзисторы с максимальным допустимым постоянным напряжением сток-исток 650 В, что обеспечивает возможность непосредственной коммутации сетевого напряжения 220 В в источниках питания с учетом необходимого запаса по пробивному напряжению.

Еще одна особенность серии, уникальная для российского рынка производства ЭКБ, заключается в том, что эти транзисторы являются нормально закрытыми, то есть они не требуют отрицательного смещения на затворе для перехода в закрытое состояние. Благодаря этому при их использовании нет необходимости в дополнительном источнике отрицательного напряжения, управление ими значительно проще, чем нормально открытыми транзисторами, а следовательно, может применяться более простая схемотехника, что в сочетании с высокими удельными мощностными характеристиками нитрид-галлиевых приборов позволяет создавать еще более компактные и легкие устройства.

Область применения данной серии включает, помимо прочего, зарядные устройства для гаджетов,

электромобилей, системы управления электродвигателями, системы преобразования электрической энергии для альтернативных источников (в том числе солнечных батарей и ветрогенераторов), системы питания беспроводных устройств и космических аппаратов, робототехнику, медицинские изделия и др. Характеристики транзисторов серии ТНГ-К приведены в табл. 3.

АО «НИИЭТ» продолжает развивать линейку силовых и СВЧ-компонентов на основе нитрида галлия, а также реализует проекты по расширению производственных возможностей и локализации производства своей продукции. Кроме того, предприятие разрабатывает изделия на основе собственной компонентной базы, в том числе и GaN-транзисторов. Одним из примеров такой продукции служит блок усилителя мощности УМ 200420-150, предназначенный для применения в измерительной, испытательной и передающей аппаратуре и обеспечивающий не менее 150 Вт непрерывной выходной мощности с регулируемым усилением не менее 45 дБ в полосе частот от 2 до 4,2 ГГц.

Нитрид-галлиевой технологии уделяется особое внимание со стороны предприятия, поскольку ее освоение и развитие в стране является важным фактором достижения технологического суверенитета в сфере силовой и СВЧ-электроники, и при правильном подходе существует возможность обеспечения отечественных радиоэлектронных предприятий ЭКБ, соответствующей мировому уровню, в том числе для создания серийных устройств для широкого гражданского рынка и аппаратуры для таких критических областей, как телекоммуникации, робототехника, автоматика и др.

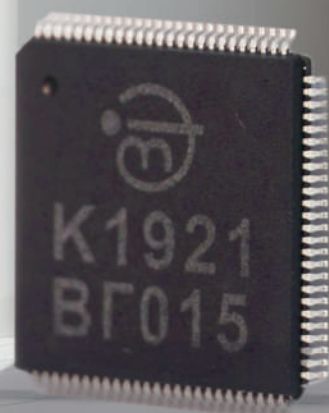
ЛИТЕРАТУРА

1. **Ahmad M.** A brief history of gallium nitride (GaN) semiconductors. Блог EDN. May 23, 2023. <https://www.edn.com/a-brief-history-of-gallium-nitride-gan-semiconductors/>
2. **Лебедев А. А., Челноков В. Е.** Широкозонные полупроводники для силовой электроники. Физика и техника полупроводников. 1999. Том 33. Вып. 9. С. 1096–1099.
3. **Вороненков В. В., Бочкарева Н. И., Вирко М. В. и др.** Подложки нитрида галлия: современное состояние, проблемы и перспективы. Международный форум «Микроэлектроника-2016», 2-я научная конференция «Интегральные схемы и микроэлектронные модули». Сборник докладов. Республика Крым. Алушта. 26–30 сентября 2016 г. НАНОИНДУСТРИЯ. Спецвыпуск. 2017. № (74). С. 478–483.
4. RF GaN Market – Global Industry Analysis and Forecast (2024-2030). Сайт Maximize Market Research. Jun 2024. <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-rf-gan-market/65313/>

Построенный на базе ядра RISC-V 32-разрядный малопотребляющий микроконтроллер **K1921BG015** корпусированный в пластик на **собственных мощностях**

Основные особенности:

- Два типа АЦП;
- Энергонезависимая память Flash: 1 Мбайт;
- Система мониторинга датчиков вскрытия;
- Потребление в активном режиме: 300 мкА/МГц.



РАЗРАБОТАНО
АО «НИИЭТ»

ОТДЕЛ МАРКЕТИНГА

Тел.: +7 (473) 222-91-70
Email: e.pletneva@niiet.ru

