

К. ф.-м. н. Н. С. БОЛТОВЕЦ, к. ф.-м. н. С. Б. МАЛЬЦЕВ

Украина, г. Киев, НИИ «Орион»
E-mail: ndiorion@tsua.net

РАЗВИТИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СВЧ-ТЕХНОЛОГИЙ В НИИ «ОРИОН» (к пятидесятилетию НИИ «Орион»)

В марте 2011 года исполняется 50 лет со дня основания научно-исследовательского института «Орион» – одного из старейших институтов прикладной науки страны с богатыми традициями. Государственный научно-исследовательский институт «Орион», первоначально называвшийся Институтом радиотехнических проблем АН УССР, был создан в соответствии со специальным постановлением правительства в 1961 г. на базе Лаборатории токов высокой частоты Института электротехники АН УССР. В 1968 г. Институт радиотехнических проблем был переименован в НИИ «Орион» и переведен в Министерство электронной промышленности СССР, в настоящее время находится в подчинении Министерства промышленной политики Украины.

Работы по созданию и развитию полупроводникового приборостроения в диапазоне частот до 200 ГГц в НИИ «Орион» были начаты в первой половине 1970-х годов с создания собственной производственно-технологической базы, обеспечивающей изготовление широкой номенклатуры полупроводниковых приборов и компонентов СВЧ на основе кремния и арсенида галлия. За эти годы в НИИ была создана научная школа исследования и разработки полупроводниковых СВЧ-приборов и модулей миллиметрового диапазона длины волны. Во многом этому способствовали научные и деловые контакты с родственными предприятиями отрасли, а также с институтами Академий наук Украины и России.

В настоящее время на производственных площадях НИИ «Орион» (более 2000 м²) организованы технологические линии, обеспечивающие замкнутый цикл изготовления СВЧ-диодов, начиная от исходных эпитаксиальных структур кремния и арсенида галлия и до сборки чипов с мезаструктурами в фирменные корпуса и комплексных испытаний диодов, включающих проверку их надежности. Для повышения воспроизводимости параметров технологических процессов и эффективности замкнутого технологического цикла разработок и производства СВЧ-диодов проведена модернизация серийного оборудования. Кроме того, разработаны, изготовлены и внедрены в производственный процесс новые оригинальные установки для высокоточной сборки корпусированных диодов миллиметрового диапазона.

Создание и организация промышленного выпуска полупроводниковых приборов диапазона милли-

метровых волн базировались на успешном решении ряда ключевых и проблемных вопросов, основные из которых приведены ниже.

Проведена оптимизация профилей легирования и конфигурации мезаструктур методами математического и конструкторско-технологического моделирования. На основе разработанных специалистами НИИ «Орион» локально-полевой модели и алгоритмов проведено моделирование IMPATT-диодов $p^+-p-n-n^+$ - и p^+-n-n^+ -типов непрерывного и импульсного режимов работы в 2-, 4-, 5- и 8-мм диапазонах длины волны. Созданы прикладные пакеты информации с импедансными характеристиками диодов для разных режимов работы, а также определены условия достижения максимальных значений мощности и эффективности при заданных тепловых режимах активной области. Результаты моделирования используются при проектировании диодов и СВЧ-компонентов на их основе.

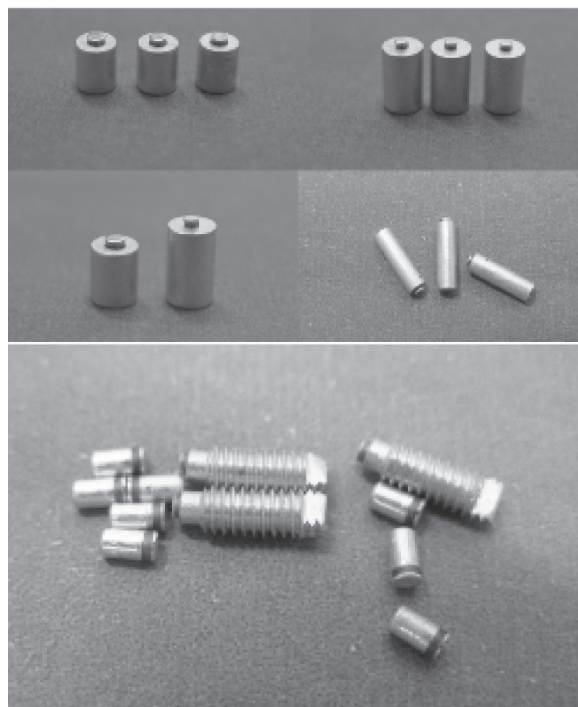


Рис. 1. Корпусированные кремниевые IMPATT-диоды (а) и GaAs-диоды Ганна (б)

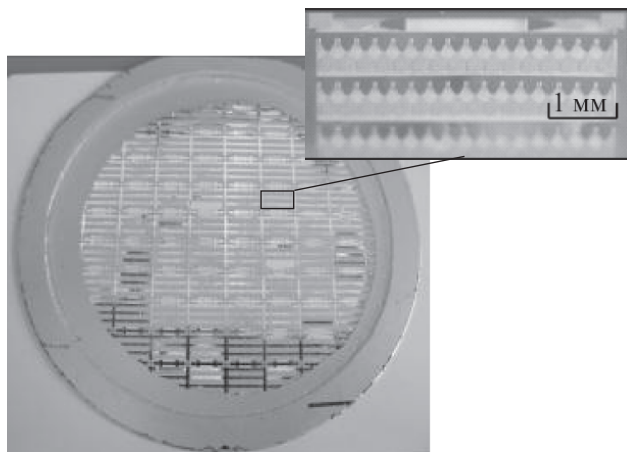


Рис. 2. Кремниевые быстродействующие переключа-
тельные $p-i-n$ -диоды миллиметрового диапазона с ба-
лочными выводами

Проведены комплексные исследования формиро-
вания контактов к твердотельным СВЧ-приборам [1].
Созданы высокостабильные контактные системы к
кремниевым [2, 3], карбид-кремниевым [4, 5], арсе-
нид-галлиевым, нитрид-галлиевым [6, 7] и фосфид-
индиевым приборным структурам [8, 9]. Разработки
были направлены на создание контактных систем,
которые обеспечивают минимальное контактное элек-

трическое и тепловое сопротивление, стабильных при
длительной эксплуатации (при температуре 200—
250°C) и совместимых с технологическими процес-
сами изготовления мезоструктур и сборки диодов
[10]. На основе комплексных исследований опреде-
лены наиболее перспективные контактные системы на
основе Pd, Pt, TiB_2 , которые применяются в настоя-
щее время в НИИ «Орион» в процессе производства
кремниевых и арсенид-галлиевых СВЧ-диодов.

Изучена стабильность параметров IMPATT-дио-
дов, диодов Ганна и переключаемых диодов с кон-
тактными системами на основе Pd, Pt, TiB_2 при мо-
делировании длительной эксплуатации в ускоренных
режимах и при воздействии γ -радиации [11]. Время
медианной наработки IMPATT-диодов и диодов Ган-
на при температуре активной области 220°C состав-
ляет не менее $(3-4) \cdot 10^6$ часов. Время наработки пе-
реключаемых диодов при температуре 150°C пре-
вышает $1,5 \cdot 10^6$ часов.

Все это позволило разрабатывать, изготавливать
и выпускать в диапазоне частот 30—155 ГГц крем-
ниевые IMPATT-диоды непрерывного и импульсного
режимов работы, GaAs-диоды Ганна (рис. 1), крем-
ниевые $p-i-n$ -диоды и варикапы с балочными выво-
дами (рис. 2).

Параметры разработанных в НИИ «Орион» дио-
дов не уступают лучшим мировым образцам (см.
табл. 1—4).

Таблица 1

Параметры кремниевых IMPATT-диодов импульсного режима работы

Наименование параметра, единица измерения	Типичные значения		
	УКА 802	УКА 803	УКА 805
Частотный диапазон, ГГц	33—37	92—96	135—155
Импульсная выходная мощность, Вт	20	10	2
Пробивное напряжение, В	35—40	13—16	10,5—12,5
Рабочий ток, А	8—15	10—12	2—5
Длительность СВЧ-импульса, нс	100—300	100—150	100—150
Емкость при $U=0$ В, пФ	12—22	6—8	2—6
Корпус	ОР-1	ОР-4	ОР-5

Таблица 2

Параметры кремниевых IMPATT-диодов непрерывного режима работы

Наименование параметра, единица измерения	Типичные значения			
Частотный диапазон, ГГц	33—37	58—62	92—96	130—150
Выходная мощность, Вт	0,20	0,20	0,15	0,05
Пробивное напряжение, В	32—40	20—26	12—15	10—12
Рабочее напряжение, В	38—46	26—32	18—31	16—18
Рабочий ток, мА	80—120	100—150	150—200	180—260
Емкость при $U=0$ В, пФ	1,3—1,8	0,9—1,2	0,7—1,1	0,5—0,8

Таблица 3

Параметры арсенид-галлиевых диодов Ганна непрерывного режима работы

Наименование параметра, единица измерения	Типичные значения	
	УАА 701	УАА 702
Частотный диапазон, ГГц	41—43	30,0—37,5
Выходная мощность, мВт	0,5—1,0	50—100
Рабочее напряжение, В	4,0	5,5
Рабочий ток, А	0,12	0,5—1,0
Корпус	ОР-6	ОР-6

В настоящее время в НИИ «Орион» проводятся также фундаментальные и прикладные исследования и ведутся разработки, направленные на создание нового поколения СВЧ-приборов на основе кремния [12, 13], арсенида галлия, фосфида индия [14], нитрида галлия [15], карбида кремния [16, 17], а также синтетического алмаза [18].

Имеющиеся технологии, модернизированная технологическая база и высококвалифицированный персонал обеспечили решение фундаментальных задач оптимизации конструкций микроволновых диодов и трансформации импеданса диодов, что позволило создать параметрические ряды диодов и широкую номенклатуру СВЧ-устройств на их основе. При этом были созданы физико-технологические основы производства СВЧ-диодов миллиметрового диапазона длины волны и выполнены комплексные исследования, направленные на обеспечение их высоких энергетических и надежных характеристик, а также на организацию мобильного производства широкой номенклатуры СВЧ-диодов в условиях рыночной экономики.

Стабильное функционирование собственной производственно-технологической базы изготовления СВЧ-диодов во многом обеспечивало и обеспечивает лидерство НИИ «Орион» в освоении техники миллиметрового диапазона длины волны, поскольку на-

личие собственных эффективных активных приборов в этом перспективном диапазоне позволяет создавать активные и пассивные СВЧ-приборы и модули. На их основе специалистами предприятия были разработаны различные классы твердотельных компонентов и устройств, совокупность которых составляет компонентную базу радиотехнической аппаратуры, систем и комплексов, в том числе:

— многофункциональные твердотельные устройства (синтезаторы частот, приемные, передающие и приемопередающие СВЧ-модули);

— однофункциональные полупроводниковые СВЧ-компоненты (генераторы, усилители, умножители частоты, смесители, переключатели, аттенюаторы, модуляторы, фазовращатели).

Выполненные специалистами НИИ разработки являются инновационными, базируются на предложенных и развитых в НИИ «Орион» новых технических решениях и принципах построения, что позволило оптимизировать схемы и конструкции твердотельных компонентов и модулей диапазона ММВ с целью достижения максимальных энергетических, диапазонных и спектральных характеристик приборов. Это обеспечило создание отвечающей самым современным требованиям компонентной базы перспективной радиотехнической аппаратуры диапазона миллиметровых волн, которая вполне удовлетворяет схмотехническим запросам разработчиков радиоэлектронной аппаратуры, оборудования и систем этого диапазона (см. табл. 5).

Технические решения, которые применены в созданных специалистами НИИ «Орион» СВЧ-компонентах, защищены 411 авторскими свидетельствами СССР и патентами Украины, России, США; по результатам исследований напечатано более чем 2150 научных трудов в периодических научно-технических отечественных и иностранных изданиях. За время существования НИИ в его стенах подготовлено более 70 кандидатов и докторов наук. За выдающиеся достижения в разработке и организации промышленного производства электровакуумных и полупроводниковых приборов 22 ученым и инженерно-техническим работникам предприятия присвоено

Таблица 4

Параметры кремниевых быстродействующих переключающих диодов с балочными выводами

Наименование параметра, единица измерения	Типичные значения			
	УКА502 А-1	УКА502 Б-1	УКА502 В-1	УКА502 Г-1
Общая емкость на частоте $f=1$ МГц при $U_R=10$ В, пФ	0,02—0,04	0,05—0,07	0,08—0,12	0,13—0,20
Постоянное обратное напряжение, В, при $I_R=1$ мкА, не менее	40	40	40	40
Прямое сопротивление потерь, Ом, на частоте $f=3,5$ ГГц при $I_F=10$ мА, не более	2,0	2,0	2,0	2,0
Время обратного восстановления, нс, при $I_F=(10\pm 0,1)$ мА, $U_{RM}=(10\pm 0,1)$ В, $\tau_M=0,2\pm 0,1$ мкс, не более	15	15	15	15
Габаритные размеры, мм, не более	0,9×0,28×0,05	0,9×0,28×0,05	0,9×0,28×0,05	0,9×0,28×0,05

[illegible]

18. Болтовцев Н. С., Беляев А. Е., Конакова Р. В. и др. Формирование линий передач СВЧ интегральных схем на подложках из синтетического алмаза // *Техника и приборы СВЧ.* — 2009. — № 2. — С. 26—30. [Boltovtsov N. S., Belyaev A. E., Konakova R. V. i dr. / *Tekhnika i pribory SVCh.* 2009. N 2. P. 26]