

С. В. БОБЖЕНКО, В. И. МАЙ, В. А. НОВИЦКИЙ,  
В. В. ТКАЧЕНКО, А. В. ТКАЧЕНКО, к. ф.-м. н. М. И. УГРИН

Украина, г. Киев, Научно-производственное предприятие «Сатурн»  
E-mail: chmil@jssaturn.kiev.ua

Дата поступления в редакцию  
06.05 2003 г.

Оппонент к. ф.-м. н. В. Н. РАДЗИХОВСКИЙ  
(ГП "Айсберг", г. Киев)

## СМЕСИТЕЛЬНО-ДЕТЕКТОРНЫЕ И УМНОЖИТЕЛЬНЫЕ ДИОДЫ ДЛЯ СМЕСИТЕЛЕЙ ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ СВЧ

*Предложены конструкции арсенидгаллиевых диодов с барьером Шоттки для преобразователей частоты сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн.*

Успехи при использовании сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн в значительной степени определяются достижениями в разработке и выпуске ряда полупроводниковых приборов, работающих на частотах до 100 ГГц и выше. Освоение суб-мм-диапазона связано с развитием монокристаллической технологии изготовления активных и пассивных элементов приемно-передающих модулей, что позволяет значительно уменьшить их габариты, массу, стоимость, улучшить надежность, а также расширить рабочий диапазон частот до 300 ГГц и выше.

Одной из составных частей приемных устройств СВЧ являются малошумящие смесители, где используются арсенидгаллиевые диоды с барьером Шоттки. В НПП "Сатурн" разработаны три типа конструкций смесительно-детекторных и умножительных диодов с барьером Шоттки для использования в см- и мм-диапазонах длин волн: диоды в малогабаритных корпусах (на кристаллодержателях); бескорпусные диоды с балочными выводами; диоды-чипы с сотовой структурой. Каждая из этих конструкций имеет свои преимущества и недостатки, которые определяют оптимальный диапазон частот их применения.

Диоды в малогабаритных корпусах используют в волноводных устройствах, гибридно-интегральных схемах, где паразитные характеристики корпусов и их размеры незначительно влияют на СВЧ-параметры устройства. Разработанный в последние годы ряд смесительно-детекторных и умножительных диодов такого типа с рабочей частотой до 80 ГГц показан в табл. 1. Диоды типа 631.005-К могут быть использованы в качестве СВЧ-варакторов для умножения, подстройки частоты сантиметрового диапазона.

Монтаж диодов осуществляется методом пайки, приклейки или прижима со сторон торцов диода (рис. 1).

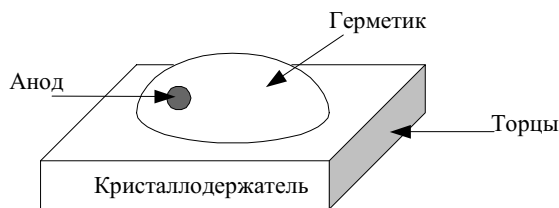


Рис. 1. Конструкция диода на кристаллодержателе

Диоды, параметры которых представлены в табл. 1, обладают максимальной рабочей частотой 80 ГГц (631.001-К), и для расширения рабочего диапазона в сторону увеличения частоты необходимо отказаться от корпуса диода, что существенно уменьшит паразитные индуктивность и емкость. С этой целью были

Таблица 1  
Параметры смесительно-детекторных, умножительных диодов на кристаллодержателе

Параметры	Смесительно-детекторные диоды			Умножительные диоды 631.005-К
	УАА104-6	УАА105-6	631.001-К	
Общая емкость диода без смещения, фФ	95—260	135—310	60—80	350—450
Показатель идеальности вольт-амперной характеристики (ВАХ)	1,1—1,16	1,1—1,16	1,14—1,18	1,14—1,18
Последовательное сопротивление потерь, Ом	3,5—8	3—8	≤ 8	≤ 4
Пробивное напряжение при токе 10 мкА, В	≥ 5	≥ 5	≥ 5	15—18
Коэффициент перекрытия барьерной емкости от 0 В до -6 В	—	—	—	2,5—3,5
Емкость кристаллодержателя, фФ	80	120	50	80
Потери преобразования, дБ	≤ 6	≤ 7	5,5	—
Чувствительность по току, А/Вт	≥ 5	≥ 5	—	—
Чувствительность по напряжению, В/Вт	—	—	1500	—
Габаритные размеры, мм	2×1×1	3,5×1,6×1,6	1×1×0,5	2×1×1
Рабочая частота, ГГц	0,5—24	0,5—10	1—80	0,5—10

разработаны бескорпусные диоды с балочными выводами, диоды сотовой конструкции с низкими значениями паразитных параметров и с предельной частотой

$$f_c = \frac{1}{2\pi r_s C_j(0)} = 3500 \text{ ГГц},$$

где  $r_s$  — последовательное сопротивление потерь,  $C_j(0)$  — емкость перехода без смещения.

Характеристики диодов с балочными выводами приведены в табл. 2. Конструкция их показана на рис. 2.

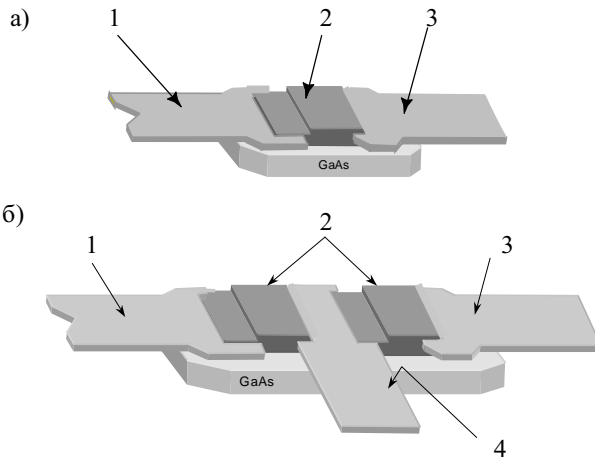


Рис. 2. Конструкция диодов с балочными выводами: а — УАА101-3; б — УЗА103-3  
1 — катодный балочный вывод; 2 — герметик; 3 — анодный балочный вывод; 4 — общий вывод

Такие диоды успешно работают в приемных радиотехнических устройствах. Например, на базе диодов с емкостью  $C_{tot} = 75$  фФ,  $r_s = 3$  Ом,  $n = 1,15$  разработаны двухдиодные смесители с потерями преобразования 6,0—6,5 дБ, при этом частота сигнала 14,3 ГГц, промежуточная — 1,5 ГГц. Смесители частоты, созданные на диодах с емкостью менее 40 фФ, последовательным сопротивлением менее 7 Ом, показателем идеальности менее 1,2 на частотах 36—150 ГГц имеют

потери преобразования 5,5—9 дБ. Детекторные устройства с диодами малой емкости (24—28 фФ) в диапазоне частот 50—110 ГГц имели вольт-ваттную чувствительность 1000—2000 мкВ/мкВт с неравномерностью не более 2 дБ.

Умножительные диоды 631.005 в соответствующих гибридно-интегральных устройствах имели коэффициент полезного действия 40% при выходной мощности сигнала 20—25 мВт и коэффициенте стоящей волны  $\leq 1,3$ .

Для уникальных устройств с высокими СВЧ-характеристиками, например, для систем радиоастрономических и радиоспектроскопических исследований, созданы диоды сотовой конструкции. Такой диод представляет собой чип  $400 \times 400 \times 300$  мкм, на поверхности которого в "окнах" диэлектрика расположены контакты "металл—полупроводник". Улучшение характеристик таких диодов осуществляется, главным образом, путем уменьшения диаметра окон в диэлектрике и толщины эпитаксиального слоя структуры полупроводника (GaAs).

Созданные умножительные арсенидгаллиевые диоды сотовой конструкции с диаметром окон 12 мкм обладали емкостью барьерного перехода 70—80 фФ, последовательным сопротивлением потерь 6—8 Ом, показателем идеальности ВАХ 1,10—1,15, напряжением пробоя при 10 мкА 20—30 В.

Предложенные нами арсенидгаллиевые диоды с барьером Шоттки успешно используются для создания смесителей и детекторов частоты. Однако значительная высота барьера (0,8 В) диодов не позволяет решать такие проблемы как понижение мощности гетеродина (работа диодов в смесительном режиме) и работа без подачи смещения на диод (детекторный режим). В этих направлениях необходимо проводить исследования с целью создания диодов со стабильным низким барьером (0,4—0,5 В) [1].

Высокие характеристики разработанных диодов обеспечиваются не только конструкцией приборов, но и качеством пластин арсенида галлия (GaAs) и уровнем развития арсенидгаллиевой технологии на предприятии. Так, на одном кристалле GaAs разме-

Таблица 2

Параметры диодов с балочными выводами

Параметры	Смесительно-детекторные диоды УАА101-3	Диодная пара* УЗА103-3	Умножительные диоды 631.005
Общая емкость диода без смещения, $C_{tot}$ , фФ	25—100	28—100	60—75
Конструктивная емкость диода, $C_{кон}$ , фФ	$\leq 18$	$\leq 20$	$\leq 20$
Показатель идеальности (ВАХ), $n$	1,14—1,18	1,14—1,18	1,12—1,18
Последовательное сопротивление потерь, $r_s$ , Ом	3—8	4—8	$\leq 5$
Пробивное напряжение при токе 10 мкА, $I_p$ , В	$\geq 5$	$\geq 5$	15—20
Предельная частота диода, $f_c$ , ГГц	800—3000	800—2500	—
Емкость диода при смещении -6 В, $C_{tot}(-6)$ , фФ	—	—	30—36
Предельная частота диода при смещении -6 В, $f_c(-6)$ , ГГц	—	—	1000—1500
Коэффициент перекрытия барьерной емкости при смещении от 0 В до -6 В, $\beta$	—	—	$\geq 3$
Габаритные размеры, мм	0,45×0,14×0,06	0,6×0,3×0,06	0,45×0,14×0,06

\* Параметры диодов в паре. Неидентичность параметров диодов в паре 7%.

рами  $3,8 \times 1,5 \times 0,05$  мм создан монолитный балансный диодный смеситель диапазона частот 80—150 ГГц (в режиме однополосного измерения на частоте 80—110 ГГц потери преобразования 8—9 дБ, на частоте 140—150 ГГц — не более 10 дБ).

Монолитный диодный смеситель состоит из двух активных элементов (диодов с барьером Шоттки), фильтров частот входной, выходной и гетеродина, элементов подачи смещения на диоды, микрополосковых линий передачи. Все эти элементы создаются в едином технологическом цикле на арсенидгаллиевых  $i-n^+-n$ -структурах с использованием технологии изготовления диодов с балочными выводами с высокой предельной частотой.

Очевидно, что, опираясь на те же конструктивные и технологические принципы, используя современ-

ный уровень развития арсенидгаллиевой технологии, можно создавать и другие монолитные модули — детекторы, переключатели, усилители, смесители мм- и суб-мм-диапазонов длин волн, проблема создания которых стоит особенно остро [2, 3].

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Божков В. Г., Вилисова В. В., Куркан К. И. и др. Смесительные и детекторные диоды миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн // Электронная промышленность. — 1993. — Вып. 9. — С. 82—87.
2. Bozhkov V. G., Ghennenberg V. A., Rourkan K. I., Perfiliev V. I. Monolithic and quasimonolithic mm-wave modules and devices / MSMW'2001 Symposium Proceedings. — Kharkov, Ukraine, June 4—9, 2001. — P. 126—131.
3. Монолитные СВЧ ИС: главная роль в военной РЭА // Экспресс-информация. — 1990. — Вып. 96/97.

К. ф.-м. н. К. В. КОЛЕЖУК, д. ф.-м. н. В. Н. КОМАЩЕНКО,  
Г. И. ШЕРЕМЕТОВА, Ф. И. КОРЖИНСКИЙ, к. т. н. В. М. ЧМИЛЬ

Украина, г. Киев, Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарёва,  
Научно-производственное предприятие «Сатурн»  
E-mail: komas@isp.kiev.ua

Дата поступления в редакцию  
21.03 2003 г.

Оппоненты к. ф.-м. н. В. А. БОРЩАК  
(ОНУ им. И. И. Мечникова, г. Одесса),  
д. ф.-м. н. Г. А. СУКАЧ  
(ИФП им. В. Е. Лашкарёва, г. Киев)

## НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ФОТОПРИЕМНИКОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Разработаны новые типы фотоприемников ультрафиолетового излучения на основе слоистых гетероструктур в системе широкозонных полупроводников  $A^2B^6$ .*

В последние годы возрастает интерес к фотоприемникам ультрафиолетового (УФ) излучения. При этом одной из актуальных и нерешенных задач УФ-техники является детектирование радиации УФ-А (320—400 нм), УФ-В (280—320 нм) и УФ-С (200—280 нм) диапазонов полупроводниковыми сенсорами, работающими без применения дополнительных оптических фильтров [1, 2]. Такие сенсоры излучения нужны для медицины, биологии, мониторинга окружающей среды (экология, контроль озонового слоя атмосферы, пожарные охраняющие устройства) и т. д.

К перспективным полупроводниковым материалам для их изготовления относятся широкозонные полупроводники типа  $A^2B^6$ . Ранее [4] нами было показано, что использование слоистых гетероструктур (ГС) открывает дополнительные возможности для разработки фотоэлектрических приборов на основе широкозонных полупроводников, выращенных на буферной подложке более узкозонного материала. Целью настоящей работы является конструирование новых типов селективных и широкополосных УФ-фотоприемников.

Методика изготовления образцов для исследования описана в [3]. В качестве фоточувствительного

широкозонного компонента ГС применялись сульфид цинка и гомогенные твердые растворы (ТР)  $n$ - $ZnS_{0,7}Se_{0,3}$  или  $n$ - $Zn_{0,8}Cd_{0,2}S$  с шириной запрещенной зоны  $E_g = 3,3$  эВ, что соответствует длинноволновой границе УФ-А-диапазона.

На рис. 1 приведена энергетическая зонная диаграмма слоистой ГС  $p$ - $Cu_{1,8}S/i$ - $ZnS_{0,7}Se_{0,3}/n$ - $CdSe$ . Она содержит высокоомный  $i$ -слой, который ограничен низкоомной, более узкозонной подложкой. Основная часть носителей заряда генерируется светом непосредственно в области потенциального барьера, где действует сильное электрическое поле. На межфазной поверхности гетероперехода  $ZnS_{0,7}Se_{0,3}/CdSe$  из-за разных значений энергии электронного сродства и ширины запрещенной зоны контактирующих материалов образуется дополнительный потенциальный барьер  $\Delta E_v$ . Его наличие существенно уменьшает (около двух порядков величины) вклад узкозонного компонента ГС в общий фототок.

Типичные спектральные характеристики фоточувствительности селективных и широкополосных сенсоров представлены на рис. 2. Сенсоры СУФ-3 (УФ-А+В+С), СУФ-4 (УФ-А+В) и СУФ-5 (УФ-А) изготовлены на основе ГС  $p$ - $Cu_{1,8}S/i$ - $ZnS_{0,7}Se_{0,3}/n$ - $CdSe$ . Сенсоры СУФ-1 (УФ-В+С) и СУФ-2 (УФ-В) — на основе ГС  $p$ - $Cu_{1,8}S/i$ - $ZnS/n$ - $CdSe$ . Подчеркнем, что указанные сенсоры изготовлены без применения интерференционных или окрашенных стеклянных фильтров.