

GaAs диод с барьером Шоттки для твердотельного генератора шума X-диапазона

Аболдуев И. М., Вейц В. В., Гарбер Г. З., Евграфов А. Ю., Зубков А. М., Миннебаев В. М., Черных А. В.

Представлены результаты проектирования и изготовления GaAs диода с барьером Шоттки, предназначенного для применения в твердотельном генераторе шумового сигнала X-диапазона. Генератор используется для калибровки СВЧ приёмных трактов радиолокационных систем и метрологической аппаратуры X-диапазона.

Введение

Генераторы сигнала «белого шума» в диапазоне СВЧ широко используются в измерительной технике в качестве эталонного источника при определении собственных шумов генераторов и усилителей, для контроля чувствительности приёмных устройств, в качестве задающего генератора в источниках помех и в ряде других случаев.

Известно [1], что для генерации СВЧ сигнала типа «белый шум» используются диоды, работающие в режиме пробоя. В [2] описан твердотельный генератор шума X-диапазона на основе кремниевого шумового диода с напряжением питания 20-25 В. В настоящей работе необходимо было исследовать диоды на арсениде галлия с барьером Шоттки в качестве рабочего перехода, обеспечивающие рабочие характеристики при напряжениях питания 6 и 12 В. Применение диода с барьером Шоттки на основе широкозонного материала позволяет обеспечить работоспособность при более высокой температуре и повысить стойкость к спецвоздействию.

Проектирование шумового диода

Расчёт структуры диода проведён по ранее разработанной оригинальной программе для квазистатической модели лавинно-пролётного диода [3]. При моделировании принято, что структура арсенид-галлиевого диода имеет слои n^+ - n -Me-типа. Исходя из заданных напряжений пробоя (напряжений питания 6 и 12 В) были рассчитаны уровень легирования рабочей области диода (n -слой) и толщина области обеднённого слоя. Полученные результаты приведены в таблице.

Таблица

Результаты расчёта структуры исходного материала для получения напряжения пробоя диодов 6 и 12 В

Пробивные напряжения при комнатной температуре, $U_{\text{проб}}$, В	Уровень легирования n -слоя, n , см^{-3}	Толщина n -слоя, t_n , мкм	Толщина обеднённого n -слоя, рассчитанного по программе [3], t_o , мкм
12	$1 \cdot 10^{17}$	0,4	0,4
6	$7 \cdot 10^{17}$	0,2	0,13

Кроме того, по той же программе были рассчитаны вольт-амперные характеристики области пробоя диодов, указанные в таблице (рис. 1).

Технология изготовления диода на арсениде галлия с барьером Шоттки

Для изготовления шумового диода использовались эпитаксиальные структуры арсенида галлия типа n - n^+ -буфер- n^{++} -подложка. Исходная подложка выращивалась методом Чохральского и легировалась теллуrom до концентрации $(2...3)10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Эпитаксиальные слои – n-слой и n⁺-буферный слой осаждались на n⁺⁺-подложку методом МОС-гидридной эпитаксии. Уровень легирования и толщина эпитаксиальных слоёв выбирались в соответствии с проведёнными расчётами и табл. 1. Так для напряжений питания 6 и 12 В толщины n-слоёв составляли 0,2 и 0,4 мкм, а концентрации – $7 \cdot 10^{17}$ и $1 \cdot 10^{17}$ см⁻³ соответственно.

В качестве рабочего перехода использовался барьер Шоттки платина-арсенид галлия [4]. Активная область диода ограничивается стандартными методами литографии с последующим осаждением гальванического золота в открытые окна для создания контакта к барьеру Шоттки платина-арсенид галлия.

Диодные структуры формировались в процессе вакуумного напыления металлов, ионно-химического травления, прецизионного химического травления арсенида галлия и гальванического осаждения золотых контактов к платине и n⁺⁺-слою арсенида галлия. Омические контакты к n⁺⁺-области создавались напылением многокомпозиционной системы AuGe-Ti-TiN-Ti-Au с последующим отжигом в вакууме [5]. Для изоляции активной области диода использовался защитный слой, что позволило подавить поверхностный пробой диода. Окончательный вариант конструкции диода показан на рис. 2.

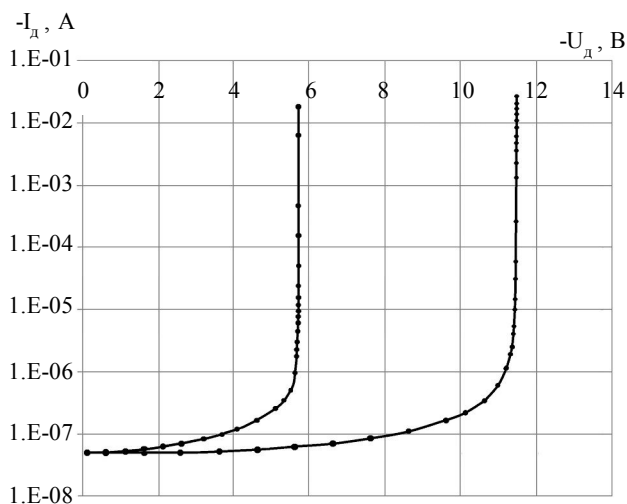


Рис. 1

Расчётные характеристики области пробоя GaAs диодов с барьером Шоттки с площадью активной области $5 \cdot 10^{-5}$ см²

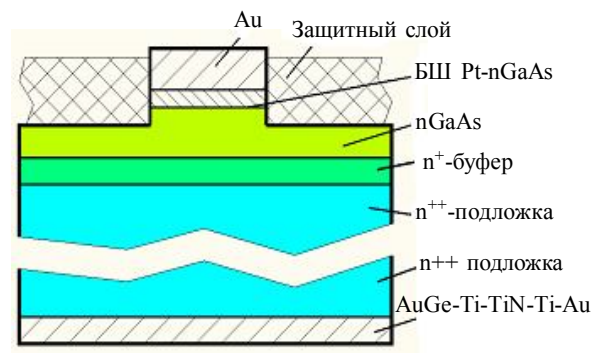


Рис. 2

Конструкция GaAs шумового диода с барьером Шоттки

Методы и результаты измерения параметров GaAs шумового диода

В соответствии с проведённым расчётом были изготовлены два типа GaAs диодов с барьером Шоттки. Как следует из расчёта, основное отличие диодов состоит в различных режимах по постоянному току, при которых происходит генерация СВЧ шумового сигнала. Вольт-амперные характеристики диодов были измерены на специализированном оборудовании, результаты измерения представлены на рис. 3.

Изготовленные шумовые диоды были собраны в ГИС генератора шума X-диапазона, конструкция которой представлена на рис. 4. Шумовые параметры ГИС измерены на установке, структурная схема которой представлена на рис. 5.

Калибровка измерителя коэффициента шума проводилась от стандартного генератора шума 346С, подключённого в измерительную цепь через делитель на 4 с ослаблением 7 дБ в каждом канале при выключенном измеряемом генераторе

шума. Измеряемый генератор шума подключался через другой канал делителя. Потери в каналах делителя учитывались при измерении. Результаты измерения СПМШ ГИС генераторов шума на основе 6- и 12-вольтовых шумовых диодов представлены на рис. 6. Для сравнения приведена частотная зависимость СПМШ генератора шума на основе кремниевого шумового диода NC401 фирмы NOISECOM.

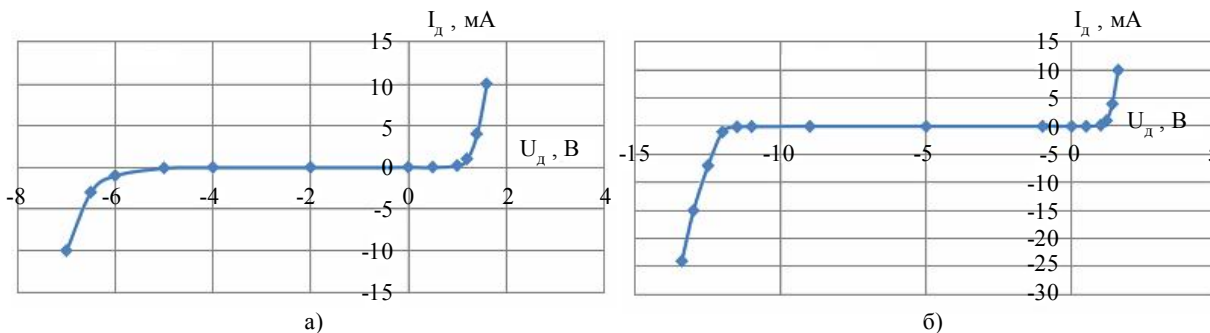


Рис. 3

Вольт-амперные характеристики GaAs шумовых диодов с пробивным напряжением около 6 В (а) и 12 В (б)

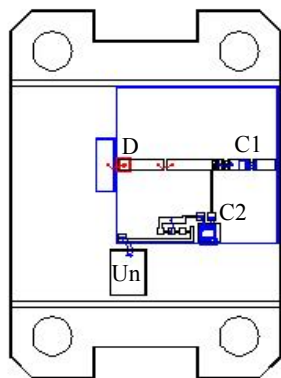


Рис. 4

ГИС генератора шума X-диапазона

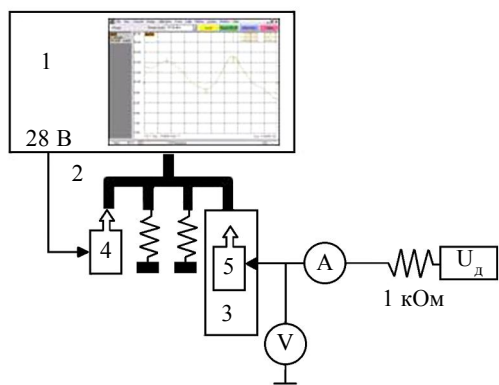


Рис. 5

Структурная схема измерителя СВЧ параметров шумового диода:
1 – измеритель коэффициента шума “Rohde & Schwarz”; 2 – мостовой четырёхканальный делитель;
3 – контактное устройство;
4 – стандартный ГШ; 5 – измеряемый ГШ

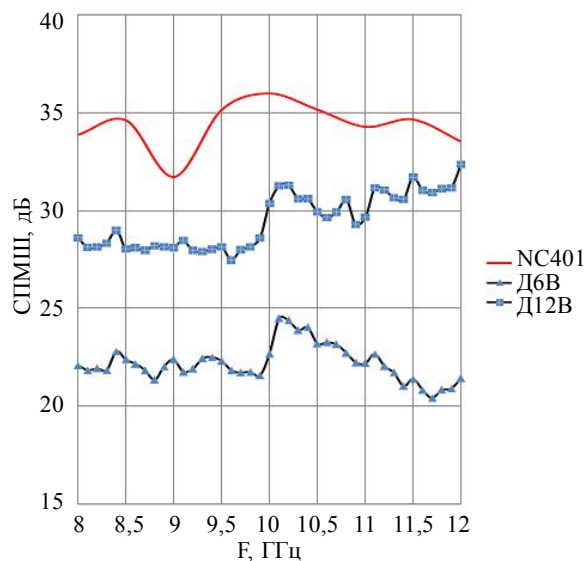


Рис. 6

Частотная зависимость СПМШ диодов с рабочим напряжением 6 В, 12 В в сравнении с кремниевым шумовым диодом NC401 с рабочим напряжением около 12 В; рабочий ток диодов – 7 мА

Выводы

По результатам расчёта и в соответствии с принятой конструкцией GaAs диода с барьером Шоттки были изготовлены образцы диодов двух типов – с рабочими напряжениями 6 В и 12 В. По измеренным ВАХ можно сделать вывод о совпадении результатов расчёта с экспериментальными характеристиками шумовых диодов. Образцы диодов были собраны в ГИС генератора шума, которые в режиме пробоя с рабочими токами 7...10 мА показали:

- СПМШ 20...25 дБ – диоды с напряжением пробоя 6 В;
- СПМШ 28...32 дБ – диоды с напряжением пробоя 12 В.

По результатам расчёта и эксперимента сформулированы требования к исходному материалу для получения шумовых диодов с заданными характеристиками.

Литература

1. Тагер А. С., Вальд-Перлов В. М. Лавино-пролётные диоды и их применение в технике СВЧ // М.: Советское радио. – 1968.
2. Аболдуев И. М., Вепринцев К. С., Герасимов А. О., Миннебаев В. М. Твердотельный генератор шума X-диапазона с высоким уровнем СПМШ // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2011. – Вып. 1(226). – С. 67-70.
3. Гарбер Г. З. Квазигидродинамическая модель лавинно-пролётных диодов // Радиотехника и электроника. – 1995. – Т. 40. – №3. – С. 495-498.
4. Вейц В. В., Андреева Е. А. Электрические свойства барьера Шоттки платина-арсенид галлия // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 1974. – С. 3-9.
5. Вальд-Перлов В. М., Вейц В. В. Низкоомный омический контакт к n-GaAs // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2008. – Вып. 2(221). – С. 58-61.

СВЧ МОНОЛИТНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ																															
производства ОАО «НПП «ПУЛЬСАР»																															
<p>1324ПП1 СВЧ удвоители частоты</p> 	<p>1324ПП2 / 1324ПП3 СВЧ удвоители частоты</p> 																														
<p>1324ПП1 - СВЧ МИС активного широкополосного умножителя частоты на 2 в диапазоне входных рабочих частот до 2,4 ГГц (до 1,4 ГГц), согласованная по выходу с линией с волновым сопротивлением 50 Ом. СВЧ МИС изготавливается в миниатюрном металлокерамическом корпусе с размерами 5x5 мм² и в виде кристаллов.</p>	<p>1324ПП2 (1324ПП3) - СВЧ МИС пассивного умножителя частоты на 2 в диапазоне рабочих частот от 1 до 3 ГГц, согласованная по входу и выходу с линией с волновым сопротивлением 50 Ом. СВЧ МИС изготавливается в миниатюрном металлокерамическом корпусе с размерами 5x5 мм² и в виде кристаллов.</p>																														
<p>Основные характеристики</p> <table><tr><td>Диапазон входных частот</td><td>0,01-2,4</td><td>ГГц</td></tr><tr><td>Диапазон выходных частот</td><td>0,02-4,8</td><td>ГГц</td></tr><tr><td>Уровень фазовых шумов</td><td>-136</td><td>дБ/Гц</td></tr><tr><td>Однополярное питание</td><td>+3,3</td><td>В</td></tr><tr><td>Ток потребления</td><td>1,5</td><td>мА</td></tr><tr><td>Диапазон рабочих температур</td><td>-60...+85</td><td>°С</td></tr></table>	Диапазон входных частот	0,01-2,4	ГГц	Диапазон выходных частот	0,02-4,8	ГГц	Уровень фазовых шумов	-136	дБ/Гц	Однополярное питание	+3,3	В	Ток потребления	1,5	мА	Диапазон рабочих температур	-60...+85	°С	<p>Основные характеристики</p> <table><tr><td>Диапазон входных частот</td><td>1,0-3,3 (0,3-1,4)</td><td>ГГц</td></tr><tr><td>Диапазон выходных частот</td><td>2,0-6,6 (0,6-2,8)</td><td>ГГц</td></tr><tr><td>Диапазон рабочих температур</td><td>-60...+85</td><td>°С</td></tr><tr><td>Подавление гармоник</td><td>32</td><td>дБ</td></tr></table>	Диапазон входных частот	1,0-3,3 (0,3-1,4)	ГГц	Диапазон выходных частот	2,0-6,6 (0,6-2,8)	ГГц	Диапазон рабочих температур	-60...+85	°С	Подавление гармоник	32	дБ
Диапазон входных частот	0,01-2,4	ГГц																													
Диапазон выходных частот	0,02-4,8	ГГц																													
Уровень фазовых шумов	-136	дБ/Гц																													
Однополярное питание	+3,3	В																													
Ток потребления	1,5	мА																													
Диапазон рабочих температур	-60...+85	°С																													
Диапазон входных частот	1,0-3,3 (0,3-1,4)	ГГц																													
Диапазон выходных частот	2,0-6,6 (0,6-2,8)	ГГц																													
Диапазон рабочих температур	-60...+85	°С																													
Подавление гармоник	32	дБ																													