

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ШИРОКОПОЛОСНОГО УТРОИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ 75-110 ГГц НА ДИОДНОЙ МИКРОСБОРКЕ

© 2016 г. В.В. БЕРЕЗИН, А.М. ЩИТОВ

АО «ФНПЦ «ННИРТ», г. Н.Новгород
АО «ФНПЦ ННИПИ «Кварц» им. А.П. Горшкова», г. Н.Новгород
e-mail: vvb87@yandex.ru, schitoff@mail.ru

Введение

До настоящего времени широкополосные умножители частоты в нашей стране выполнялись на дискретных элементах – ДБШ (диод с барьером Шоттки), конденсаторах, резисторах [1,2,3]. Сравнительно большие паразитные параметры элементов и монтажа, а также малая допустимая мощность рассеяния бескорпусных ДБШ не позволяют получить выходную мощность более 1 мВт в диапазоне частот 78-118 ГГц. Переход на монолитное исполнение с использованием диодных микросборок, содержащих помимо диодов элементы подводящих трактов с цепями автосмещения и исключающих паразитные параметры, обеспечит качественный скачок в улучшении характеристик умножителей и существенно снизит трудоемкость их изготовления.

Конструктивные и технологические особенности

В ОАО «НПП «Салют» (г. Нижний Новгород) была разработана конструкция микросборки на смесительных и умножительных диодах для встраивания ее в волноводные балансные утроители частоты [4,5]. Микросборка включает в себя два диода, два конденсатора и два резистора. Габаритные размеры кристалла микросборки: 0,6×0,6×0,1 мм.

Кристалл микросборки изготавливается на полупроводниковой структуре арсенида галлия. Эпитаксиальные структуры характеризуются следующими электрофизическими параметрами:

- низкоомный n^+ -слой толщиной 1...2 мкм;
- рабочий n -слой толщиной 0,1 мкм с концентрацией носителей $1,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ для микросборок на смесительных диодах;
- рабочий $n1 - n2$ -слой толщиной 0,5 мкм с концентрацией носителей $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3} / 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ для микросборок на умножительных диодах.

Технологический процесс изготовления микросборок повторяет процесс изготовления диодов с барьером Шоттки. Отличие состоит в том, что перед формированием второго уровня металлизации производится изготовление резисторов и диэлектрического слоя конденсаторов.

Омические контакты диодов, нижние обкладки конденсаторов и контактные площадки микросборок (первый уровень металлизации) формируются с помощью металлической системы золото-германий-золото, напыляемой термическим испарением в вакууме, с последующим вплавлением при температуре 400 °С.

В качестве диэлектрика конденсатора используется пленка нитрида кремния (Si_3N_4), получаемая плазмохимическим осаждением, толщиной 0,25 мкм. Такая толщина диэлектрика позволяет получать удельную емкость 200 пФ/мм² и емкость конденсаторов 5...6 пФ.

Для изготовления резисторов используется пленка, получаемая магнетронным распылением в вакууме силицида вольфрама номиналом 50 Ом/□.

Барьерный контакт диодов и второй уровень металлизации формируются с помощью фотолитографии и напыления металлической системы титан-золото с последующим гальваническим осаждением золота толщиной 2 мкм.

Соединение конденсаторов с землей осуществляется с помощью металлизированных сквозных отверстий с обратной стороны кристаллов. В качестве металлизации обратной стороны используется химникель и гальваническое золото толщиной 3 мкм.

На основе предложенной методики [6], была предпринята попытка провести моделирование и расчет утроителя частоты 75-110 ГГц на диодной микросборке.

Расчет утроителя 75-110 ГГц на микросборке

Эскиз утроителя показан на рис. 1. Утроитель выполнен в виде двух последовательно соединенных прямоугольных волноводов различных сечений: входного 7,2×3,4 мм и выходного 2,4×1,2 мм. В разрезе по центру широкой стенки волноводов вставлена металлическая пластина толщиной 0,2 мм, образующая H-образный волновод. Сечение выходного волновода на начальном участке заужено до 2,1×1,2 мм для того, чтобы сделать его запредельным для диапазона частот второй гармоники входного сигнала. Микросборка устанавливается в месте соединения волноводов различного сечения. Со стороны входа на расстоянии $\lambda_{\text{ср.вых.}}/4$ устанавливается пластина из полиимида с односторонней металлизацией, выполняющая роль согласующего элемента и короткозамыкателя для 3-й гармоники (выходного сигнала).

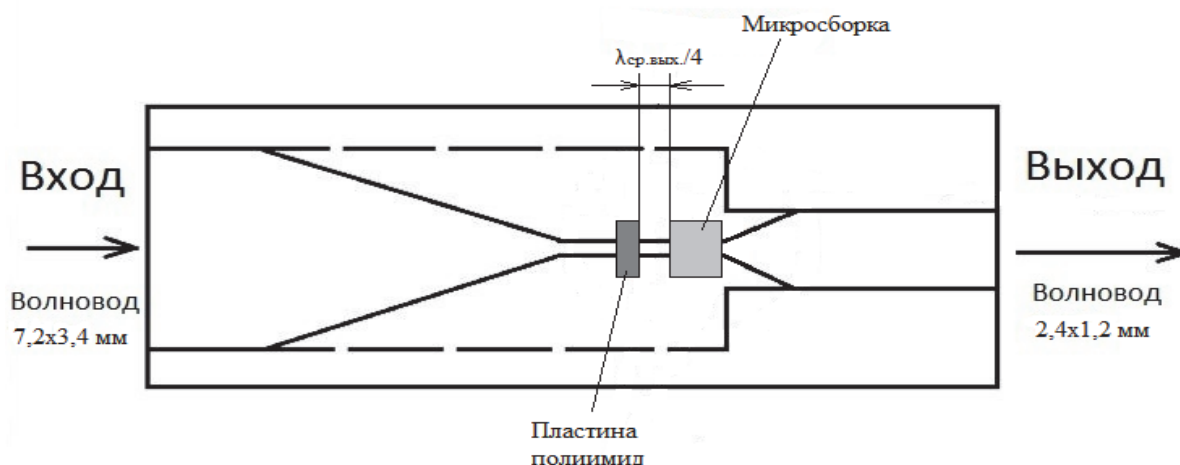


Рис. 1. Эскиз утроителя частоты 75-110 ГГц.

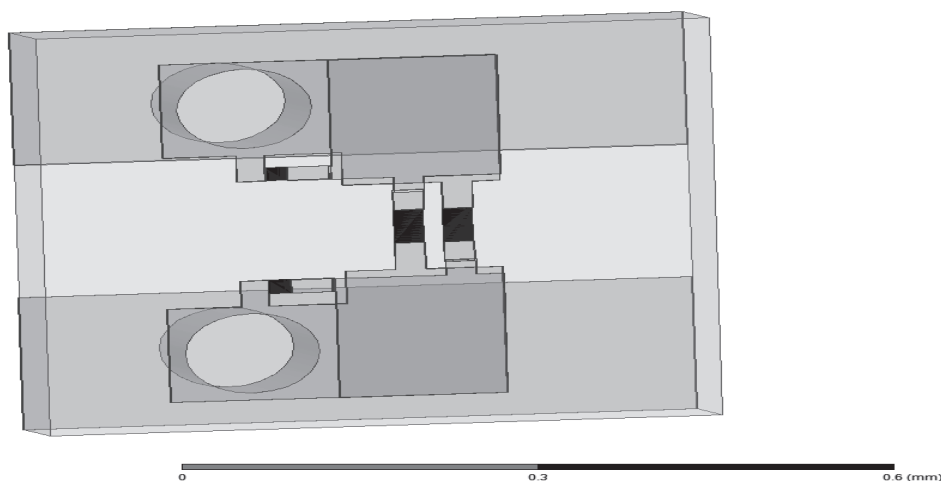


Рис. 2. 3D модель микросборки.

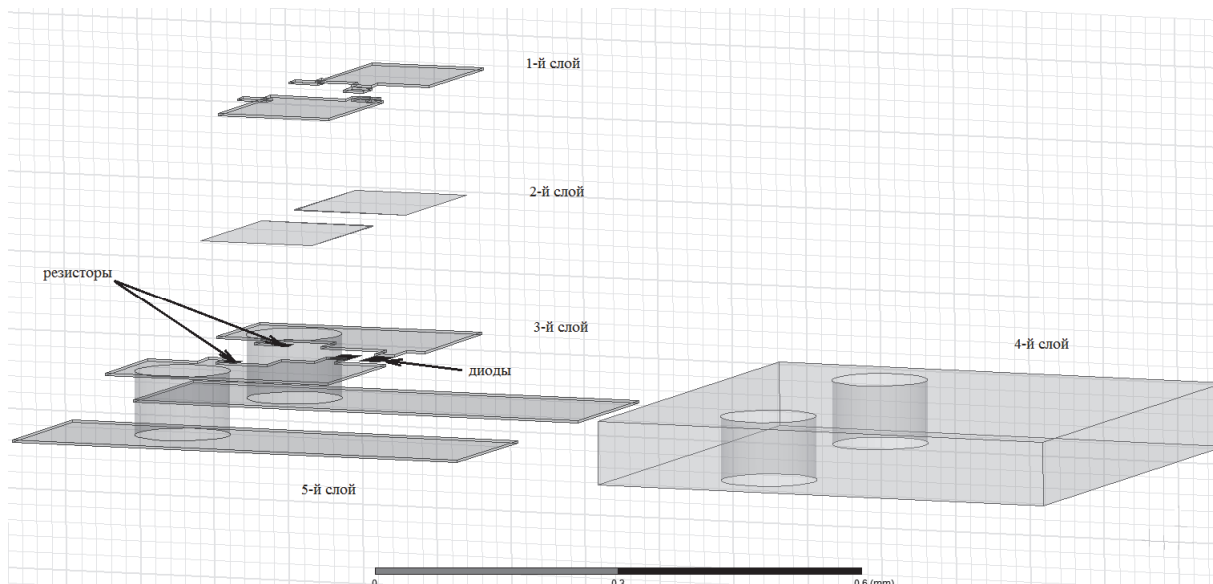


Рис. 3. Топология микросборки.

Проведено моделирование утроителя частоты с двухдиодной микросборкой на умножительных диодах. На рис. 2 представлена 3D модель микросборки. Модель выполнена в соответствии с размерами изготовленных образцов, учтены топологические особенности и электрические свойства, такие как емкость и сопротивление цепей автосмещения, спроектированы модели диодов основанные на измеренных характеристиках диодов (сопротивление и емкость р-п перехода, ВФХ и ВАХ).

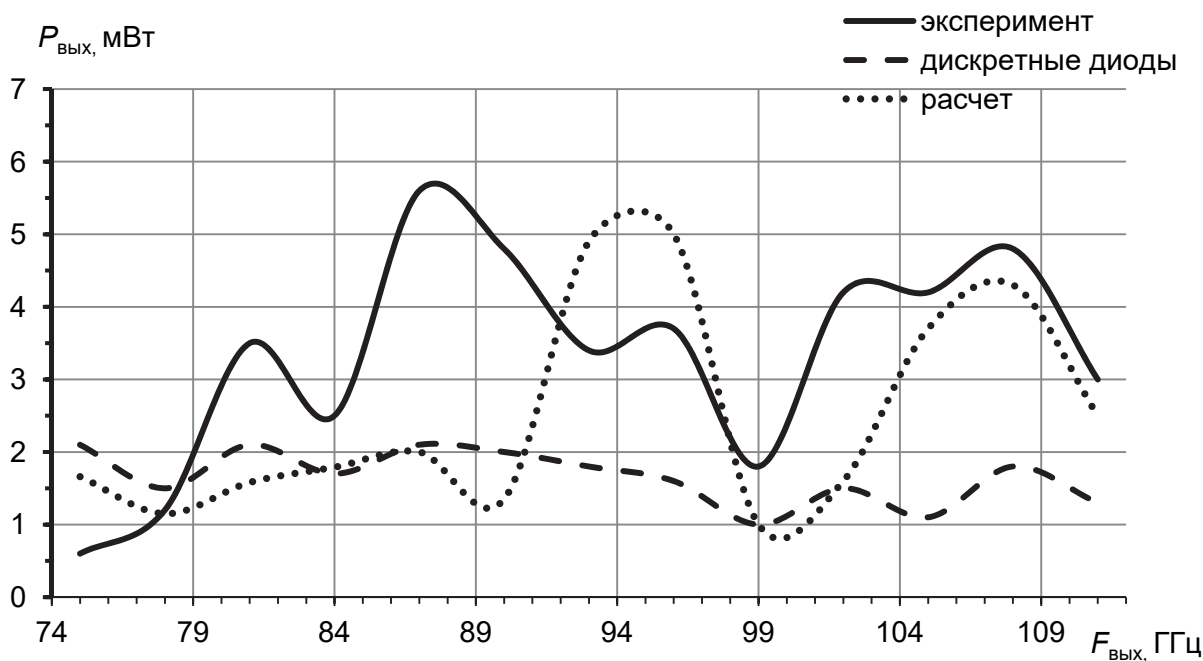


Рис. 4. Уровень выходной мощности утроителя частоты 75-110 ГГц.

Анализ утроителя проведен при следующих условиях:
 - диапазон частот входного сигнала 25-37 ГГц;
 - уровень мощности входного сигнала 100 мВт (20 дБм);
 - микросборка с умножительными диодами: $C_0 = 0,06$ пФ, $R_s = 3$ Ом, номиналы элементов цепей автосмещения: $C = 7$ пФ, $R = 50$ Ом.
 На рис. 3 представлена топология микросборки:

- 1-й слой представляет верхние обкладки конденсаторов цепи автосмещения;
- 2-й слой это диэлектрический слой конденсаторов;
- 3-й слой, на нем располагаются нижние обкладки конденсаторов, диоды и резисторы цепей автосмещения;
- 4-й слой это диэлектрическая подложка на основе арсенид галлия;
- 5-й слой, контактные площадки, для монтажа.

Далее модель микросборки помещена в волноведущий тракт умножителя частоты. Осуществлен расчет и оптимизация местоположения микросборки, размеров и местоположения согласующих регулировочных полиимидных пластин. На рис. 4 приведены результаты измерения выходной мощности утроителя на двухдиодной микросборке с умножительными диодами в сравнении с расчетной моделью и типичными значениями $P_{\text{вых}}$ умножителей на дискретных элементах с диодами А92220-2 при $P_{\text{вх}}=100$ мВт.

Выводы

Результаты измерений показывают, что эффективность утроителя на микросборке в большей части рабочего диапазона частот существенно (на ~3 дБ) выше, чем утроителя на диодах А92220-2 при $P_{\text{вх}}=100$ мВт. Здесь же приведен расчетный уровень выходной мощности, который достаточно хорошо совпадает с экспериментальными результатами.

Измерения выходной мощности утроителей на микросборках со смесительными диодами дали результат на 3-5 дБ хуже по сравнению с микросборками на умножительных диодах.

Сравнение результатов рис. 4 показывает, что предложенная в [6] методика позволяет проектировать умножители частоты на сложных монолитных микросборках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Щитов А.М., Серебряков А.Е.* Широкополосные умножители частоты миллиметрового диапазона (26,5-110 ГГц) // Вестник ВВО АТН РФ. Сер. Высокие технологии в радиоэлектронике. – 1997. - № 1 (3). – С. 91-96.
2. Коаксиальные, волноводные и оптические устройства // Каталог НИИПИ «Кварц». – Н. Новгород, 2014.
3. *Щитов А.М.* Диодные умножители частоты // Системы и средства связи телевидения и радиовещания. – 2002. - №1/2. – С. 45-51.
4. *Щитов А.М., Дюков Д.И., Чеченин Ю.И.* Широкополосные умножители частоты КВЧ-диапазона на интегральных диодных микросборках // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника – 2015. – Вып. 4 (527). – С. 50-57.
5. *Щитов А.М., Дюков Д.И., Чеченин Ю.И.* Широкополосные умножители частоты КВЧ-диапазона на интегральных диодных микросборках // СВЧ-электроника, 2015. Наука. Технология. Производство: труды науч.-техн. конф. АО «НПП «Исток» им. Шокина». – Фрязино Моск. обл., 2015. – С. 50-51.
6. *Щитов А.М., Березин В.В.* Методика расчета и проектирования волноводного диодного утроителя частоты 75-110 ГГц // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2015. – Вып. 4. – Т. 18. – С.11-17.