

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ЭЛЕКТРОНИКИ СВЧ

© 2017 С. М. Толстых, В. В. Костюченко

*Воронежский институт высоких технологий  
Концерн радиостроения «Вега»*

*В статье рассматриваются основные особенности разработок микроэлектронных устройств. Существует разница в проектировании пассивных и активных устройств, в связи с тем, что необходимо обеспечивать условия генерации колебаний. Указаны иерархические уровни соединений в микроэлектронике.*

*Ключевые слова: элементная база, электроника, характеристика, радиоволна.*

На первых этапах развития радиотехнических систем связи широко использовались электровакуумные приборы: лампы, магнетроны, клистроны и т. д. Они позволили освоить СВЧ-диапазон, однако не всегда удовлетворяли по таким параметрам, как миниатюрность, надежность, энергопотребление.

Взгляды радиоинженеров все чаще обращались к микроэлектронике. Именно микроэлектронные устройства позволяли получить высокую надежность при малом энергопотреблении, малые габариты и низкую цену обработки одного бита информации.

Известно, что в любой электронной аппаратуре различают пассивные и активные элементы, линии межсоединений.

В традиционной микроэлектронике линии межсоединения выполняются в виде алюминиевых полосок, и проблем их создания в интегральных схемах не возникает вплоть до высокой степени интеграции. Иное дело – межсоединения в СВЧ-диапазоне.

В микроэлектронной СВЧ-аппаратуре различают иерархические уровни соединений.

Нулевой конструктивно-технологический уровень составляют межэлементные соединения. Они связывают в схему с определенными функциями пассивные и активные элементы.

Первый уровень составляют соединения в гибридных микросхемах СВЧ-диапазона, связывающие на плате бескорпусные микросхемы, навесные пассивные и активные электрорадиоэлементы.

Ко второму уровню межсоединений относятся проводники, соединяющие гибридные

микросхемы, корпусированные полупроводниковые микросхемы, дискретные электрорадиоэлементы в ячейки или микросборки.

В свою очередь, как правило, межсоединения этих уровней представляют собой микрополосковые переемычки или полосково-коаксиальные переходы.

Ячейки, или микросборки, а также электрорадиоэлементы коммутируются в блоки СВЧ с помощью межсоединений третьего уровня, выполненных в виде микрополосковых переемычек или полужестких кабелей.

На следующих уровнях межсоединений используют СВЧ-кабели, не представляющие интерес для микроэлектроники.

А вот микрополосковые линии (МПЛ) весьма интересны с точки зрения физической электроники. МПЛ представляет собой проводник ленточного типа, имеющий ширину  $W$ , с прямоугольным сечением, располагается на подложке, имеющей толщину  $h$  при высоком значении диэлектрической проницаемости.

Обратная сторона подложки металлизирована и заземлена.

Микрополосковая линия такой конструкции обладает волновым сопротивлением, зависящим от соотношения  $W/h$  и величины диэлектрической проницаемости, а также от коэффициента потерь, от дисперсии и предельной передаваемой мощности. При конструировании устройств СВЧ появляется необходимость изменения геометрических размеров МПЛ, что получило название неоднородности МПЛ.

К пассивным элементам СВЧ-диапазона относят резисторы, конденсаторы и индуктивности.

---

Толстых Светлана Михайловна – ВИВТ АНОО ВО, студент, pertsevole@yandex.ru.

Костюченко Вячеслав Владимирович – Концерн радиостроения «Вега», сотрудник, andrusvi@yandex.ru.

Эффект электрического сопротивления прохождению тока в СВЧ-диапазоне возникает в неоднородностях микрополосковых линий в емкостях, образующихся в воздушных промежутках, диэлектрических материалах, окисных пленках между кристаллами.

Конденсаторы микросхем СВЧ-диапазона также изготавливаются на основе МПЛ. Малые номиналы (несколько пикофарад) можно получить на разрывах МПЛ, большие реализуются в конструкции типа гребенчатого конденсатора.

Для получения конденсаторов емкостью более 10 пФ используют многослойные структуры.

Индуктивность как элемент СВЧ-схем может быть реализована в виде прямоугольного обрезка МПЛ со скачком по ширине, или в форме круглой и квадратной спирали.

К пассивным элементам можно условно отнести диоды СВЧ-диапазона, которые не генерируют колебаний.

Диод с барьером Шотки представляет собой выпрямляющий контакт металл - полупроводник. Он работает на основных носителях заряда, неосновные не накапливаются. Время восстановления обратного сопротивления примерно 10-8 с, что позволяет использовать такие подложки до частот 300 ГГц.

Диод р- и i-структуры формируется на основе обедненного i-слоя между р- и n-областями. Обладает высоким пробивным напряжением, способен работать при напряжении >1кВ и мощности в импульсе примерно 10 кВт.

Существуют конструкции диодов, обладающие S- или N-образными вольтамперными характеристиками.

Такие диоды на определенных участках ВАХ имеют отрицательное дифференциальное сопротивление и, стало быть, способны генерировать электромагнитные колебания. Эти диоды и триодные структуры отнесем к активным элементам СВЧ-микросхем.

Лавинно-пролетный диод работает на основе лавинного пробоя р-n-перехода при высоких обратных напряжениях. На его основе можно создать достаточно мощные диоды, работающие в гигагерцовом диапазоне частот.

Туннельные диоды представляют собой р-n-переходы с туннельным эффектом. Они обладают широкополосностью, низким уровнем шума, высокой температурной стойкостью.

Диод Ганна в основе своей конструкции имеет невыпрямляющий контакт металл-полупроводник.

Он работает в гигагерцовом диапазоне частот при значительных мощностях импульсов.

Однако наибольший интерес как активные элементы представляют полевые и биполярные транзисторы.

Главное их отличие от традиционных транзисторных структур микроэлектроники – материал.

Если в традиционной микроэлектронике все структуры выполняются на кремниевых подложках того или иного типа проводимости, то в микроэлектронике СВЧ используются полупроводниковые соединения типа АIII ВV или АII ВIV. Чтобы понять, почему эти материалы предпочтительней кремния, укажем особенности физики полупроводников.

Основные носители в полупроводнике в отсутствие электрического поля совершают хаотическое тепловое движение, изменяя его направление в результате столкновения с ионами примеси - донорами, или акцепторами.

Столкновения эти не следует понимать буквально, как, например, столкновения двух бильярдных шаров. Речь идет о взаимодействии электрических полей зарядов подвижных носителей и неподвижных ионов примеси.

Атомы основного вещества, хотя и более многочисленные, в этих процессах практически не принимают участия ввиду их электрической нейтральности. Чем выше концентрация примеси в полупроводнике, тем короче будет длина свободного пробега носителей.

В электрическом поле на тепловое движение носителей накладывается упорядоченная составляющая – дрейф.

Продолжая хаотическое движение, носители начинают смещаться вдоль линий электрического поля в направлении, определяемом знаком носителя.

Подвижность носителей связывает скорость движения и напряженность поля. Другими словами, значение подвижности – это скорость носителей в единичном поле.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Львович Я. Е. Решение задач оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн на дифракционных структурах при их проектировании / Я. Е. Львович, И. Я. Львович, А. П. Преображенский // Вестник Воро-

нежского института высоких технологий. – 2010. – № 6. – С. 255-256.

2. Косилов А. Т. Методы расчета радиолокационных характеристик объектов / А. Т. Косилов, А. П. Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2005. – Т. 1. – № 8. – С. 68-71.

3. Преображенский А. П. Аппроксимация характеристик рассеяния электромагнитных волн элементов, входящих в состав объектов сложной формы / А. П. Преображенский, Ю. П. Хухрянский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2005. – Т. 1. – № 8. – С. 15-16.

4. Преображенский А. П. САПР современных радиоэлектронных устройств и систем / А. П. Преображенский, Р. П. Юров // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2006. – Т. 2. – № 3. – С. 35-37.

5. Головинов С. О. Цифровая обработка сигналов / С. О. Головинов, С. Г. Миронченко, Е. В. Щепилов, А. П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2009. – № 4. – С. 064-065.

6. Кульнева Е. Ю. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Е. Ю. Кульнева, И. А. Гащенко // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-2. – С. 50.

7. Львович И. Я. Расчет характеристик металлодиэлектрических антенн / И. Я. Льво-

вич, А. П. Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2005. – Т. 1. – № 11. – С. 26-29.

8. Болучевская О. А. Свойства методов оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн / О. А. Болучевская, О. Н. Горбенко // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2013. – № 3. – С. 4.

9. Львович И. Я. Разработка информационного и программного обеспечения САПР дифракционных структур и радиолокационных антенн / И. Я. Львович, А. П. Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2006. – Т. 2. – № 12. – С. 63-68.

10. Ерасов С. В. Оптимизационные процессы в электродинамических задачах / С. В. Ерасов // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2013. – № 10. – С. 20-26.

11. Паневин Р. Ю. Задачи оптимального управления многостадийными технологическими процессами / Р. Ю. Паневин, Ю. П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2010. – № 6. – С. 77-80.

12. Самойлова У. А. Анализ сложных электродинамических объектов на основе параллельных вычислений / У. А. Самойлова // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-2. – С. 55-56.

## THE CHARACTERISTICS OF THE ELEMENT BASE OF MICROWAVE ELECTRONICS

© 2017 S. M. Tolstyh, V. V. Kostychenko

*Voronezh Institute of High Technologies  
Radio engineering Corporation «VEGA»*

*The paper is connected with consideration of the main features of the development of microelectronic devices, There is a difference in the design of passive and active devices, due to the fact that it is necessary to provide conditions for the generation of oscillations. Specified hierarchical levels of the compounds in microelectronics.*

*Keywords: electronic components, electronics, characteristics of the radio wave.*