

ПЯТИРАЗРЯДНЫЙ СВЧ АТТЕНЮАТОР НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ ДЛЯ ДИАПАЗОНА 5-6 ГГц

Осипов А.М., Семенова Л.М.
ЗАО «НПП «Планета-Аргалл», Россия
173004 г. Великий Новгород, ул. Федоровский ручей, 2/13
тел.: 8162-693-121, e-mail: argall@novgorod.net

Радченко В.В.
ФГУП "ЦНИРТИ им. академика А.И.Берга", Россия
105066 Москва, ул. Новая Басманная, 20,
Тел.: 495-263-95-22, e-mail: optimizer@mail.ru

Аннотация – Представлены результаты разработки монолитной интегральной схемы пятиразрядного СВЧ аттенюатора. Аттенюатор выполнен на кристалле арсенида галлия размером 2,6 x 1,6 мм² и обеспечивает в полосе частот от 5 до 6 ГГц управление амплитудой сигнала в диапазоне 0 – 31 дБ с шагом 1дБ и начальными потерями - 6 дБ. Проведено исследование сопротивления канала транзистора, изготовленного на двух типах эпитаксиальных структур.

I Введение

На современном этапе развития радиоустройств СВЧ все большее применение находят передающие, приемные и приемопередающие активные фазированные антенные решетки (АФАР). АФАР представляет собой антенну с электронным сканированием [1].

Ключевым элементом АФАР являются приемопередающие модули (ППМ), обеспечивающие управление по амплитуде и фазе распределения сигнала в апертуре решетки. Одним из основных элементов ППМ является устройство, обеспечивающее управление сигналом по амплитуде – аттенюатор.

На практике чаще всего используются аттенюаторы на основе р-і-п диодов или полевых транзисторов с барьером Шотки (ПТШ).

Недостатки аттенюаторов на р-і-п диодах состоят в том, что р-і-п диоды нельзя изготовить в едином технологическом цикле изготовления всей схемы, т.е. данные схемы можно создать только в гибридном варианте, что существенно увеличивает трудоемкость и противоречит требованиям единого технологического подхода при реализации отдельных элементов ППМ.

Преимущества аттенюатора на ПТШ перед р-і-п состоят не только в технологической возможности интеграции на кристалле всей схемы, то есть создании монолитной схемы, но и в отсутствии потребляемого тока в цепи управления.

В докладе представлены результаты совместной работы: на предприятии ФГУП "ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга" была разработана, а на предприятии ЗАО "НПП "Планета - Аргалл" изготовлена МИС аттенюатора на ПТШ.

II Проектирование и изготовление

Для реализации аттенюатора на ПТШ выбрана электрическая схема с использованием коммутируемых резистивных секций. Конструкция аттенюатора изображена на рисунке 1 и представляет собой каскадное включение секций пяти разрядов, каждая из которых имеет характеристическое сопротивление

50 Ом и обеспечивает ослабление 1, 2, 4, 8 и 16 дБ соответственно. Таким образом, аттенюатор имеет 32 состояния от 0 до 31 дБ с шагом 1 дБ.

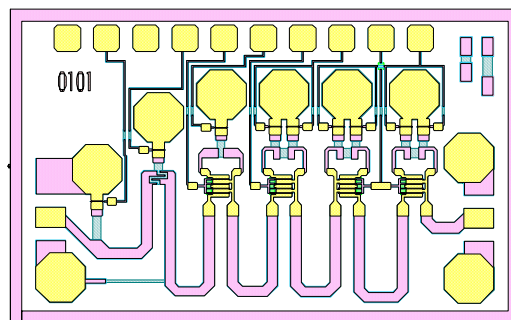


Рис. 1. Топология пятиразрядного аттенюатора
Fig. 1. Topology of five bit attenuator

В первом и во втором разрядах используется управление одним уровнем сигнала, а управление третьим, четвертым и пятым разрядами осуществляется двумя инверсными уровнями. На рисунке 2 представлена электрическая схема одной секции аттенюатора с двухуровневым управлением. Цифрами 1 и 2 обозначены СВЧ вход и выход секции, буквами А и В – контактные площадки для подачи управляющего напряжения (0/-5 В), G - контактная площадка заземления. Напряжение управления равно 0В соответствует логической единице, а -5В – логическому нулю.

В процессе проектирования все отдельные каскады, включая транзисторы, резисторы и линии передачи, были рассчитаны методами электромагнитного анализа. В топологических моделях ключевых транзисторов в открытом состоянии были использованы распределенные резисторы с величиной суммарного сопротивления равного измеренному сопротивлению ПТШ с соответствующей шириной затвора. При таком подходе измеренные на пластине потери аттенюаторов практически полностью совпали с расчетными.

Аттенюатор реализован в виде монолитной интегральной схемы на кристалле арсенида галлия размером 2,6 x 1,6 мм². Топология ориентирована на контроль S-параметров на пластине.

Переключение секций аттенюатора осуществляется с помощью ПТШ, работающего в ключевом режиме. При этом одним из основных параметров, определяющих свойства аттенюатора являются потери при прохождении сигнала через ПТШ. Потери в ПТШ, прежде всего, связаны с конечным сопротивлением

лением ключа: не равным нулю в открытом состоянии и не равным бесконечности в закрытом состоянии.

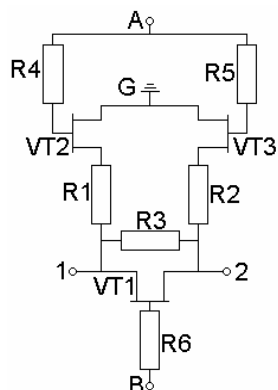


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема секции аттенюатора с двухуровневым управлением
Fig. 2. Electrical schematic of section of attenuator

В рамках данной работы проводилось исследование сопротивления канала ПТШ в открытом состоянии, изготовленного на эпитаксиальной структуре типа рНЕМТ (pseudo High electron mobility transistor) и на классической эпитаксиальной структуре (ЭС) арсенида галлия типа САГ-В.

Для ПТШ, изготовленных на структурах типа рНЕМТ значение сопротивления канала ПТШ соответствует уровню порядка 3 Ом-мм, для структур типа САГ-В – порядка 2,5 Ом-мм.

При сравнительном анализе транзисторов, полученных на разных типах структур: ПТШ на ЭС типа САГ-В имеют больший ток стока, чем ПТШ на ЭС типа рНЕМТ, при одинаковом напряжении насыщения. Такие значения тока стока на ЭС типа САГ-В достигнуты за счет увеличения напряжения отсечки до 3,5 В, в отличие от ПТШ на ЭС типа рНЕМТ, для которых напряжение отсечки составляет 1,5 В.

Таким образом, для изготовления аттенюатора была выбрана классическая эпитаксиальная структура арсенида галлия. Ширина затвора у последовательно включенных ПТШ составляет 300 мкм у шунтирующих – 50 мкм. Затворы транзисторов сформированы вакуумным напылением золота с подслоем ванадия. Длина затвора порядка 0,4-0,5 мкм. Для подачи управляющего напряжения на затвор ПТШ на кристалле предусмотрены тонкопленочные резисторы сопротивлением 200 Ом. Поверхность МИС защищена слоем нитрида кремния, толщиной 0,1 мкм. Металлизация разводки формировалась вакуумным напылением золота с подслоем ванадия с последующим гальваническим осаждением золота толщиной 3 мкм. Все резисторы изготавливались в едином технологическом цикле по тонкопленочной технологии и защищены пленкой нитрида кремния. После выполнения всех операций с лицевой стороны, производилось химико-динамическое утонение подложки до 100 мкм и сформированы сквозные металлизированные отверстия. По описанной технологии была изготовлена партия МИС пятиразрядных СВЧ аттенюаторов.

III Результаты измерений

Измерение S-параметров проводилось на пластине в диапазоне 5-6 ГГц. На рисунке 3 показано семейство характеристик во всех возможных 32 состояниях аттенюатора. Минимальные потери состав-

ляют 6 дБ во всем диапазоне частот. Максимально достижимое ослабление составляет 39 дБ. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) – не более 1 дБ во всем частотном диапазоне.

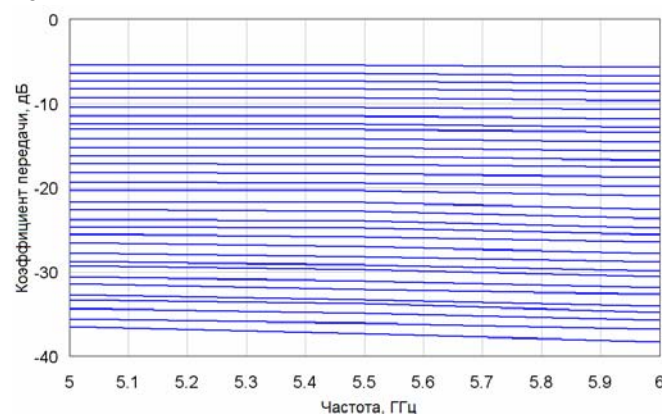


Рис. 3 Семейство характеристик коэффициента передачи аттенюатора в 32-х состояниях
Fig. 3. Transmission coefficient of attenuator

КВЧН входа и выхода в рабочей полосе частот во всех 32 состояниях менее 2.

IV Выводы

Разработан и изготовлен пятиразрядный аттенюатор на арсениде галлия с цифровым управлением, использующий в качестве ключей ПТШ. Исследованы эпитаксиальные структуры арсенида галлия для изготовления аттенюатора с минимальными потерями, исходя из полученных данных, сделан выбор в пользу классической эпитаксиальной структуры. Измерены характеристики аттенюатора в диапазоне частот 5-6 ГГц. Разработанная технология изготовления позволяет создавать широкий класс СВЧ аттенюаторов с цифровым управлением.

V Список литературы

1 Вендик О.Г. Фазированная антенная решетка – глаза радиотехнической системы // Соросовский образовательный журнал – 1997. – №2. – с. 115-120.

5-6 GHz BAND GaAs MMIC FIVE BIT DIGITAL ATTENUATOR

Osipov A.M., Semyonova L.M.
СС «SPE «Planeta-Argall»
2/13 Fedorovskii ruchei St., Novgorod the Great, Russia
ph.:8162-693-121, e-mail: argall@novgorod.net

Radchenko V.V.
FGUE CNIRTI
20 Novaja Basmannaya St., Moscow – 105066, Russia
ph.: 495-263-95-22, e-mail: optimizer@mail.ru

Abstract – The results of design of the MMIC of five bit microwave frequency attenuator are presented. The attenuator is executed on a crystal of gallium arsenide with dimensions 2,6 x 1,6 mm² and provides in a strip of frequencies 5 - 6 GHz management of amplitude of a signal in a band 0 - 31 dB with a step 1 dB and initial losses - 6 дБ. There is carried out research of a channel resistance of the transistor made on two types of epitaxial structures.