

УДК 004.94

И.М. Добуш, А.А. Коколов, Л.И. Бабак

Исследование копланарных элементов монолитных интегральных схем

Представлены результаты моделирования и экспериментального исследования пассивных распределенных и сосредоточенных элементов GaAs монолитных интегральных схем (МИС) в диапазоне до 40 ГГц, выполненных на основе копланарных линий (КПЛ).

Ключевые слова: копланарные элементы, СВЧ монолитные интегральные схемы, модели элементов.

Введение. Перспективным направлением радиоэлектроники являются разработка и производство СВЧ монолитных интегральных схем (МИС), в том числе в миллиметровом диапазоне волн. При этом существенный интерес представляет точность моделирования МИС, которая определяется качеством моделей элементов, находящихся в распоряжении разработчика.

В МИС миллиметрового диапазона вместо традиционной микрополосковой линии (МПЛ) в качестве основной линии передачи часто предпочитают использовать копланарную линию (КПЛ), особенно в Ka-, V- и W-диапазонах частот. Использование КПЛ повышает гибкость конструирования, упрощает исполнение при реализации некоторых функциональных устройств, а также имеет ряд других преимуществ. В таблице представлены сравнительные характеристики КПЛ и МПЛ [1].

Сравнение КПЛ и МПЛ

Факторы	МПЛ	КПЛ
Гибкость при проектировании	–	+
Потери	+	–
Дисперсия	–	+
Связь между соседними линиями	–	+
Размер чипа	+	0
Необходимость металлизации подложки с обратной стороны	–	0
Отсутствие сквозных отверстий	–	+

Примечание. + наиболее выгоден; 0 нейтрален; – наименее выгоден.

К элементам МИС на базе КПЛ относятся: отрезок КПЛ, неоднородности КПЛ (короткозамкнутый и холостой шлейфы, воздушный мост, изгиб линии, Т-соединение, перекрестное соединение и др.), а также пассивные сосредоточенные элементы (индуктивности, конденсаторы, резисторы и др.) – см. рис. 1.

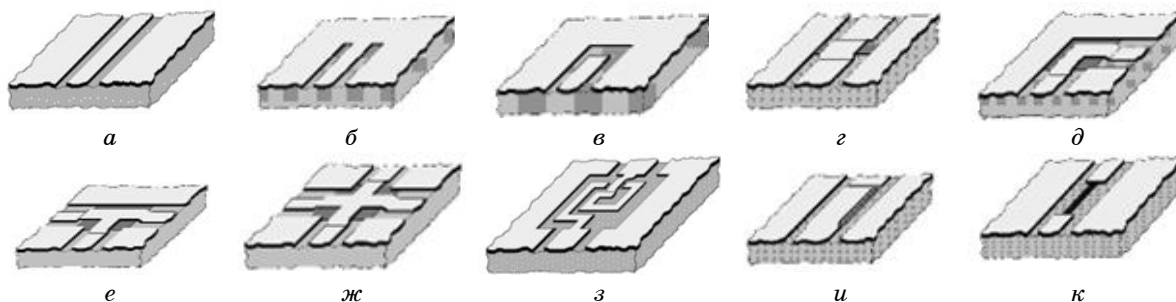


Рис. 1. Элементы МИС на основе КПЛ: отрезок КПЛ (а), короткозамкнутый (б) и холостой шлейфы (в), воздушный мост (г), изгиб (д), Т-соединение (е), перекрестное соединение (ж), индуктивность (з), конденсатор (и), резистор (к)

В настоящей работе представлены результаты моделирования и измерений пассивных КПЛ-элементов МИС, выполненных на базе опытной 0,15 мкм рНЕМТ/mНЕМТ GaAs-технологии Института СВЧ полупроводниковой электроники РАН.

Задачей исследования являлась оценка точности моделей КПЛ-элементов с целью дальнейшего их использования в проектировании МИС Ka-диапазона.

Результаты исследования. На рис. 2 показаны тестовые модули, специально изготовленные на подложке для зондовых измерений параметров рассеяния элементов МИС на базе КПЛ. Они включают в себя основные типы пассивных распределенных (а) и сосредоточенных (б) КПЛ-элементов.

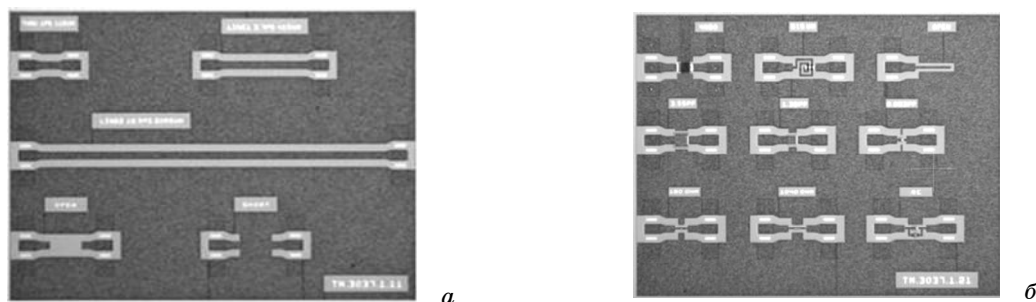


Рис. 2. Тестовые модули для измерения параметров элементов МИС: пассивные распределенные (а) и сосредоточенные (б) КПЛ-элементы

Моделирование элементов на рис. 1 выполнено двумя способами: с использованием моделей КПЛ-элементов, разработанных авторами и включенных в библиотеку пакета Microwave Office (MWO), и электромагнитного (ЭМ) моделирования в подпрограмме АХИЕМ. Разработанные модели распределенных и сосредоточенных КПЛ-элементов построены на базе эквивалентных схем с использованием приведенных в литературе соотношений либо получены путем адаптации имеющихся в пакете MWO встроенных моделей микрополосковых элементов. Для всех КПЛ-элементов в среде MWO созданы также топологические представления [2].

Приведем результаты сравнения моделирования и эксперимента для некоторых типов КПЛ-элементов. На рис. 3 представлены результаты моделирования двух видов (с использованием библиотечных моделей MWO и ЭМ анализа) и измерений частотных зависимостей параметров S_{11} и S_{21} отрезка копланарной линии с волновым сопротивлением 50 Ом (ширина $W = 50$ мкм, зазор $S = 48$ мкм, длина $L = 2055$ мкм).

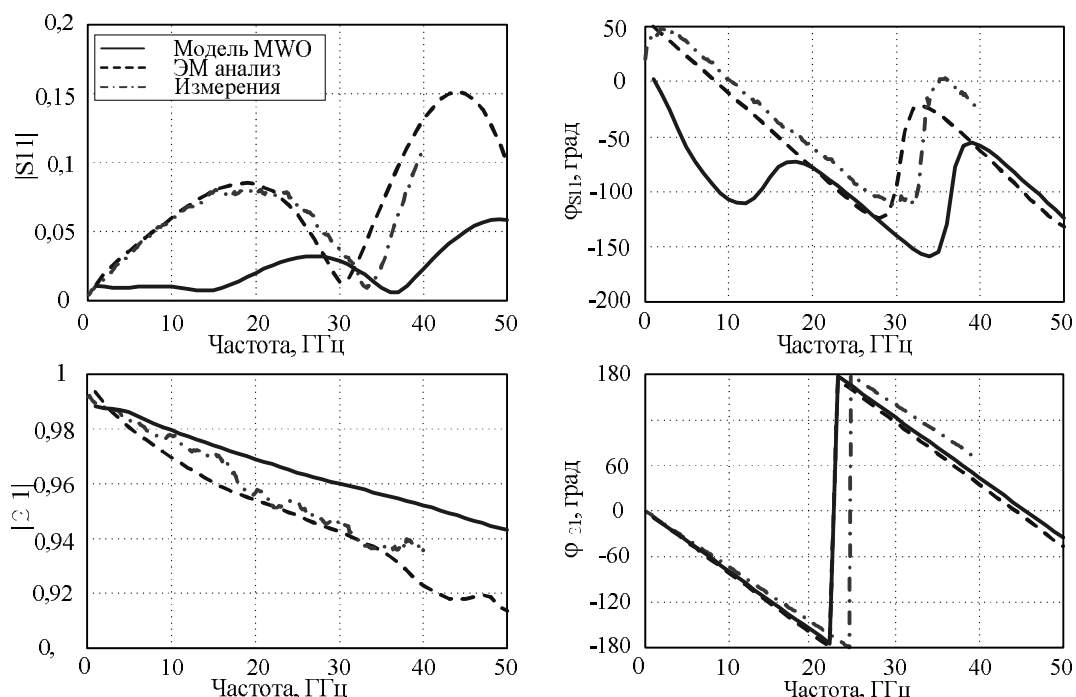


Рис. 3. Частотные зависимости параметров рассеяния отрезка КПЛ

На рис. 4 показаны результаты моделирования и измерений частотных зависимостей параметров S_{11} и S_{21} копланарного резистора с сопротивлением $R = 180$ Ом (длина $L = 7$ мкм, ширина $W = 12$ мкм).

На рис. 5 представлены результаты моделирования и измерений частотных зависимостей параметров S_{11} и S_{21} копланарного межслойного конденсатора номинала $C = 1,38$ пФ (длина $L = 50$ мкм, ширина $W = 50$ мкм).

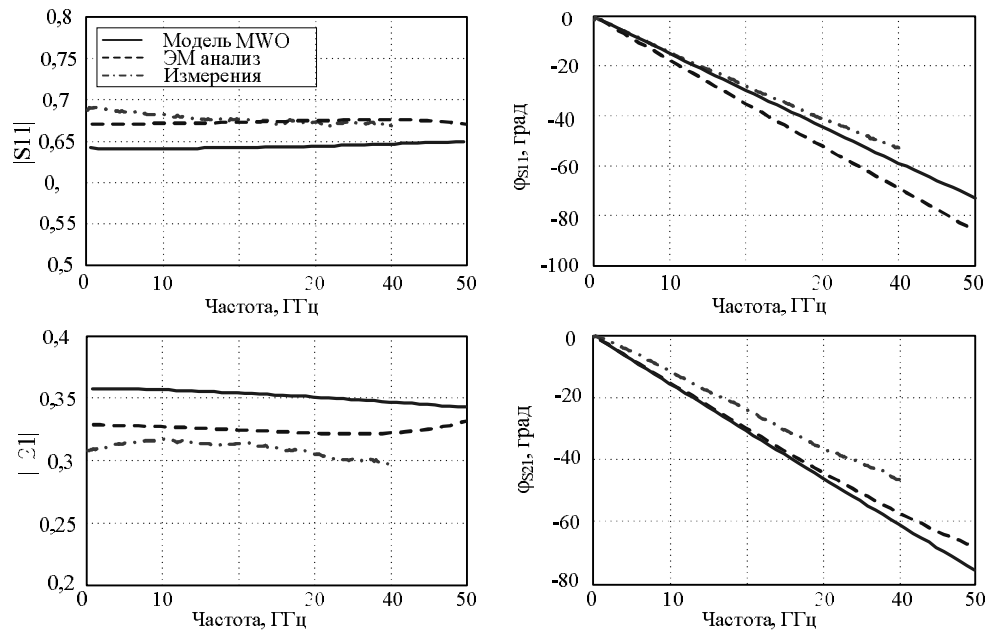


Рис. 4. Частотные зависимости параметров рассеяния копланарного резистора

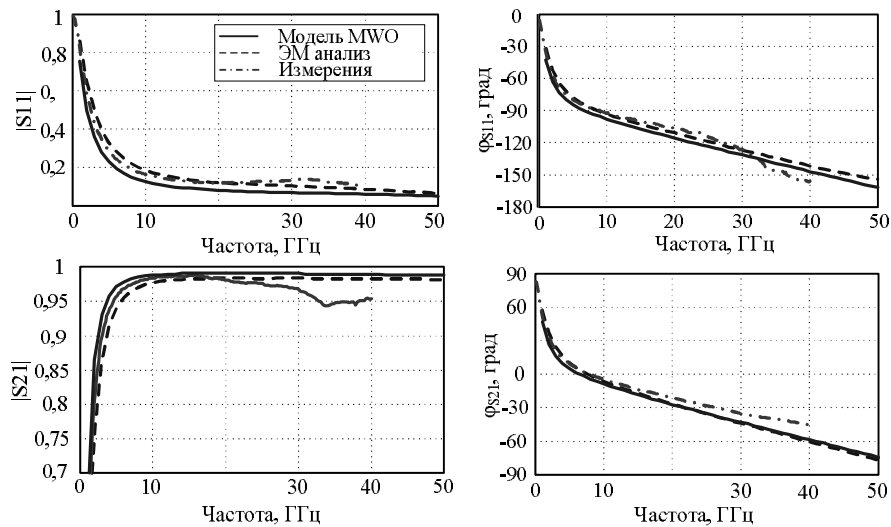


Рис. 5. Частотные зависимости параметров рассеяния межзлойного конденсатора

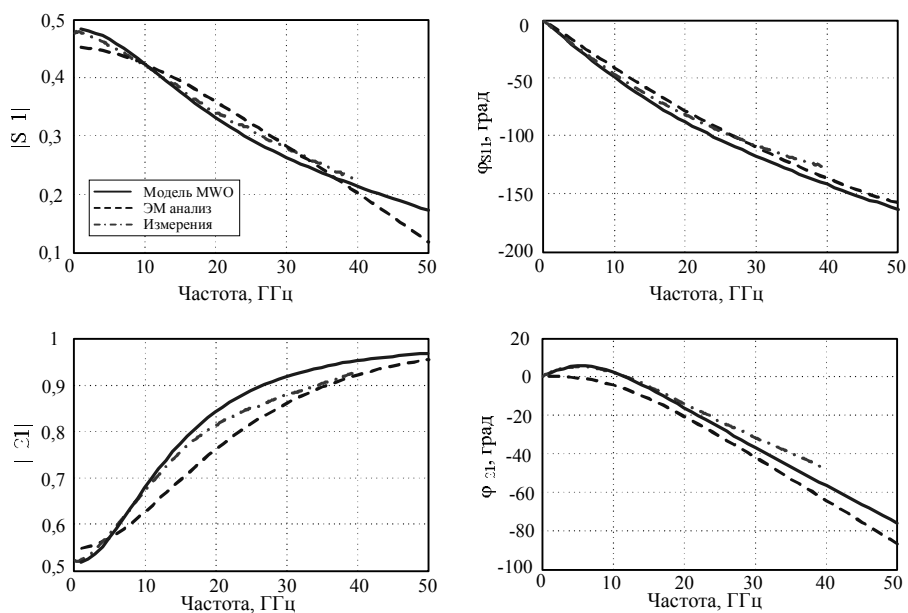


Рис. 6. Частотные зависимости параметров рассеяния копланарной RC-цепи

На рис. 6 изображены результаты моделирования и измерений частотных зависимостей параметров S_{11} и S_{21} более сложной тестовой структуры – копланарной параллельной РС-цепи.

Заключение. Полученные данные позволяют сделать следующие выводы. Разработанные модели КППЛ-элементов, включенные в библиотеку MWO, пригодны для проектирования СВЧ МИС до 40 ГГц с погрешностью не более 10–15%. Для устройств, работающих на частотах свыше 40 ГГц, необходимо уточнять модели элементов либо использовать ЭМ-моделирование.

В [3] приведены результаты проектирования копланарных монолитных усилителей мощности Ka-диапазона с использованием разработанных моделей КППЛ-элементов.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ в рамках проектов 08-07-99034-р_офи и 09-07-99020-р_офи, а также в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по направлениям «Нанотехнологии и наноматериалы», «Создание электронной компонентной базы», «Микроэлектроника» (мероприятия 1.1, 1.2.1, 1.2.2, 1.3.1 и 1.3.2, государственные контракты П1418, П1492, П2188, П669, П499, 16.740.11.0092 и 14.740.11.0135).

Литература

1. Добуш И.М. Исследование моделей элементов копланарных линий для проектирования СВЧ монолитных интегральных схем на основе GaAs / И.М. Добуш, А.А. Коколов, Л.И. Бабак // Сб. науч. трудов «Современные проблемы радиоэлектроники». – Красноярск: Изд-во СФУ, 2009. – С. 87–90.

2. Сальников А.С. Разработка библиотеки элементов для проектирования отечественных гетероструктурных СВЧ МИС в среде Microwave Office / А.С. Сальников, А.А. Коколов, Ф.И. Шеерман // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2(22), ч. 1. – С. 157–160.

3. Копланарные монолитные усилители Ka-диапазона на основе 0,13 мкм GaAs mHEMT-технологии / Л.И. Бабак, Ю.В. Федоров, М.В. Черкашин, и др. // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2(22), ч. 1. – С. 20–24.

Добуш Игорь Мирославович

Аспирант каф. компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) ТУСУРа
Тел.: +7-923-402-92-86
Эл. почта: igadobush@gmail.com

Коколов Андрей Александрович

Студент каф. радиотехнических систем (РТС) ТУСУРа
Тел.: +7-923-405-93-59
Эл. почта: kokolovaa@gmail.com

Бабак Леонид Иванович

Канд. техн. наук, доцент каф. КСУП
Тел.: +7-960-969-91-52
Эл. почта: leonid.babak@rambler.ru

Dobush I.M., Kokolov A.A., Babak L.I.
Investigation of MMIC Coplanar Elements

The results of simulation and on-wafer measurements of passive distributed and lumped elements of GaAs MMICs, which are based on coplanar lines, are presented for frequencies up to 40 GHz. Based on the data obtained, the models accuracy for MMIC coplanar elements is estimated.

Keywords: coplanar elements, microwave monolithic integrated circuits, element models.