

Разработка моделей катушек индуктивности и конденсаторов для технологического процесса с проектной нормой 0,25 мкм на основе GaAs

Представлены результаты проектирования и моделирования катушек индуктивности и конденсаторов для библиотеки стандартных элементов монолитных интегральных схем для технологического процесса с проектной нормой 0,25 мкм на основе GaAs. Данный набор пассивных элементов предназначен для проектирования цепей согласования и фильтров питания для усилителей X-диапазона.

Ключевые слова: пассивные элементы, библиотека стандартных элементов, PDK

Разработка компонентной базы для проектирования СВЧ устройств является крайне актуальной задачей отечественной микроэлектроники. Использование набора разработчика или PDK (Process Design Kit), который описывает различные активные и пассивные элементы микросхем в конкретном технологическом процессе, является эффективным методом при проектировании таких СВЧ устройств как усилители, фазовращатели, фильтры. Исходя из требований к номиналам пассивных элементов, возможностей технологического оборудования и необходимости экстракции и верификации моделей с различной геометрией, в качестве пассивных элементов для PDK, описывающего технологический процесс с проектной нормой 0,25 мкм на основе GaAs, был спроектирован набор катушек индуктивности и конденсаторов с различными геометрическими размерами. Размеры катушек указаны в таблице 1, межвитковое расстояние 12 мкм, ширина полоска 16 мкм. Площадь перекрытия обкладок конденсаторов для экстракции 252x38 мкм, 24x44 мкм.

Таблица 1

Номер катушки	1	2	3	4	5	6	7
Количество витков	,5	,5	,5	,5	,5	,5	,5
Минимальный внутренний радиус, мкм	40	04	0	2	6	4	2

Был разработан комплект фотошаблонов с набором планарных катушек индуктивности и конденсаторов металл-диэлектрик-металл (МДМ). На рис. 1 представлены изготовленные катушка индуктивности и конденсатор. Экстракция параметров проводилась с использованием САПР AWR Design Environment. Для проведения измерений использовалась полуавтоматическая зондовая станция и векторный анализатор цепей. Малосигнальные параметры были измерены в частотном диапазоне от 5 МГц до 40 ГГц.

Для описания конденсатора была выбрана масштабируемая модель Thin Film Capacitor(TFC) [1] с последовательно включенной индуктивностью 0,1 нГ, которая является

индуктивностью подводов к конденсатору и обкладок. Данная модель масштабируема по площади перекрытия обкладок. На рис. 2 представлены результаты моделирования.

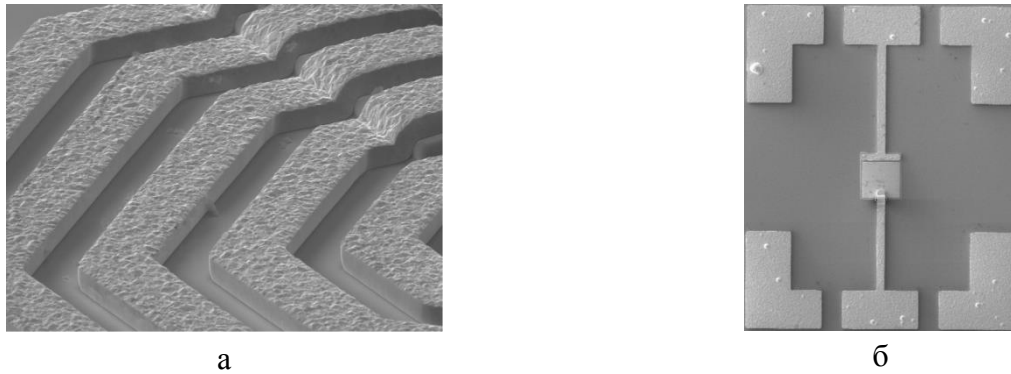


Рисунок 1. Вид катушки индуктивности (а) и конденсатора (б) на пластине

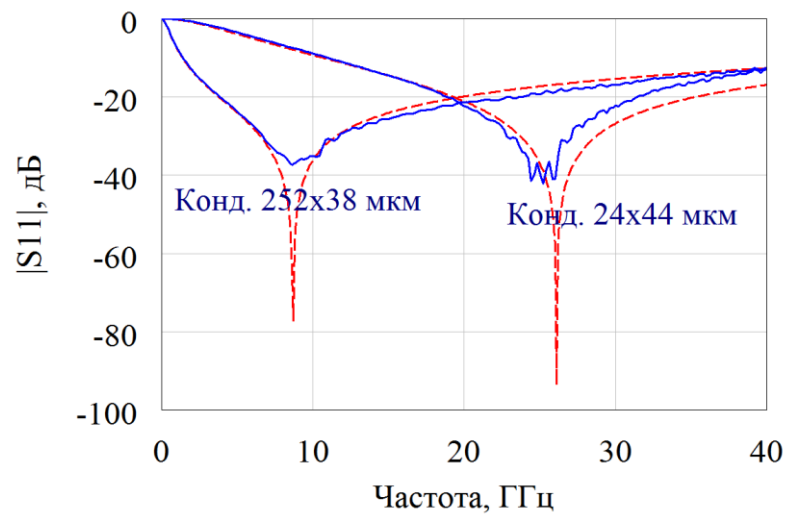
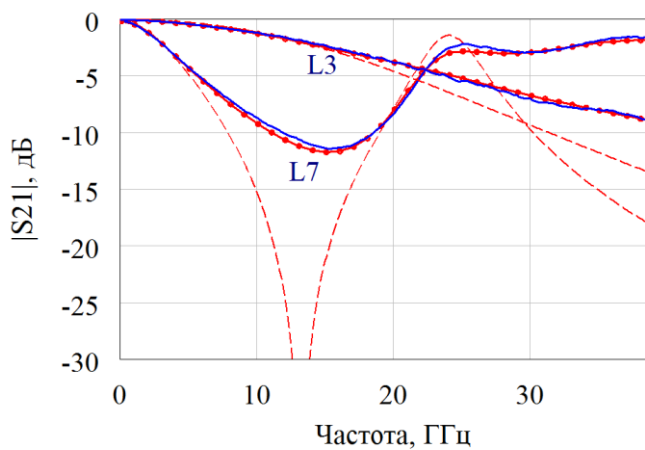
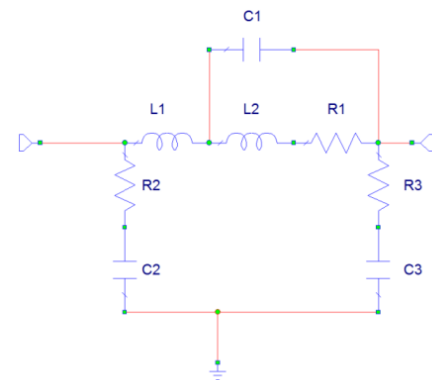


Рисунок 2. Зависимость S_{11} от частоты для МДМ-конденсатора. Сплошная линия – измерения, пунктирная – эквивалентная схема



а



б

Рисунок 3. Эквивалентная схема катушки индуктивности (а) и зависимость S_{21} от частоты для катушек L3 и L7 (б). Сплошная линия – измерения, пунктирная – эквивалентная схема, пунктирная с точками – ЭМ модель

Спиралевидная катушка индуктивности описывалась эквивалентной схемой, представленной на рис. 3, которая является модификацией схемы, описанной в [2]. Емкость $C1$ – паразитная емкость между мостом катушки индуктивности и подводящей жилой, а также включает в себя межвитковую емкость. Емкости $C2$ и $C3$ – емкость подложки, а сопротивления $R2$ и $R3$ описывают потери в подложке. Индуктивности $L1$ и $L2$ описывают индуктивности участка до моста и после него. Однако данная модель не является масштабируемой. Использование катушки индуктивности возможно только до частоты, на которой отношение мнимой и вещественной частей импеданса равно нулю. Для более точного описания катушек индуктивности на высоких частотах использован метод электромагнитного (ЭМ) моделирования с помощью решателя Axiem, входящего в пакет AWR Design Environment.

Для технологического процесса с проектной нормой 0,25 мкм на основе GaAs была разработана ЭМ структура, благодаря которой возможно описать катушки индуктивности любой геометрии, то есть модель является масштабируемой. Данная модель была разработана на основе теоретических данных о материалах, входящих в состав структуры, а также данных, полученных из измерений. Модель также была верифицирована на объектах, не входящих в набор для библиотеки элементов. В ходе работы были проведены измерения семи катушек индуктивности с различной геометрией, в ЭМ модуле AWR Microwave Office были перенесены их топологии и произведен расчет методом конечных элементов. На рис.3 представлены график зависимости S_{21} от частоты для катушек индуктивности $L3$ и $L7$ и расчетные кривые для эквивалентной схемы и ЭМ модели.

Результаты расчета ЭМ модели, в отличие от эквивалентной схемы, совпали с результатами измерений вплоть до 40 ГГц, что показывает высокую точность данного метода. Также данный метод существенно облегчает разработку электронных схем, позволяя использовать не только индуктивности из набора, представленного в PDK, но и произвольной формы. Таким образом, в PDK реализована возможность использовать для расчетов модели на основе эквивалентных схем, что при приемлемой точности снижает время расчета. При необходимости получать более точные результаты для катушек индуктивности возможно создание ЭМ модели, что позволяет проводить анализ для более высоких частот. В данной работе реализован принцип сквозного проектирования, подразумевающий передачу результатов одного этапа проектирования на следующий этап в единой проектной среде, что является крайне эффективным.

Библиографический список

1. MWO/AO Element Catalog: <https://awrcorp.com/download/faq/english/docs/Elements/TFC.htm>
2. Bahl I.J. Lumped elements for RF and microwave circuits / I.J. Bahl// – Norwood: Artech House (June 2003). – 2003. – p. 68.