УДК 621.382.2/.3

GaAs МИС дискретных широкополосных фазостабильных аттенюаторов: примеры из практики АО «Микроволновые системы»

П.С. Сорвачев, А.В. Кондратенко
Обособленное подразделение АО «Микроволновые системы» в г. Нижний Новгород
Опубликовано в Сборнике статей XI Всероссийской научно-технической конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ», Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 30 мая – 3 июня 2022г

Аннотация: в докладе представлены результаты разработки GaAs монолитных интегральных схем дискретных широкополосных фазостабильных аттенюаторов, в составе которых коммутационные элементы реализованы либо в виде транзисторов с высокой подвижностью электронов, работающих в режиме управляемого сопротивления канала, либо в виде PIN-диодов. По уровню достигнутых параметров разработанные микросхемы не уступают зарубежным продуктам и могут быть предложены широкому кругу потребителей. Обсуждаются возможности адаптации схемотехнических и топологических решений и локализации производства монолитных интегральных схем аттенюаторов на базе отечественных предприятий микроэлектронной отрасли.

Ключевые слова: монолитная интегральная схема, дискретный управляемый аттенюатор, полевой транзистор с затвором Шоттки, PIN-диод, параметры рассеяния, GaAs технологический процесс.

1. Введение

Монолитные интегральные технологии уже давно заняли прочные позиции в вопросе создания ЭКБ СВЧ для современных радиоэлектронных устройств и систем. При этом, не смотря на существование большого количества участников глобального рынка микроэлектронных компонентов, достаточно часто возникает необходимость создания собственной (специализированной) ЭКБ, исходя из ряда соображений: оптимизация технических показателей комплексного проекта; решение вопросов доступности лицензируемой зарубежной номенклатуры; повышение экономической эффективности головного проекта за счет снижения себестоимости элементной базы; выполнение заказных проектов по созданию ЭКБ; и так далее.

В докладе представлены результаты разработки GaAs монолитных интегральных схем (МИС) дискретных широкополосных фазостабильных аттенюаторов как примеры из практики АО «Микроволновые системы» в интересах собственных подразделений, занимающихся разработкой и производством радиоэлектронных узлов, модулей и систем, а также для отечественных предприятий, готовых сотрудничать с АО «Микроволновые системы» как с поставщиком ЭКБ СВЧ.

2. Описание разработанных микросхем и результаты

В качестве коммутационных элементов в составе современных МИС дискретных аттенюаторов малой и средней мощности используются полевые транзисторы с затвором Шоттки, работающие в режиме управляемого сопротивления канала. В сравнении с PIN-диодами их можно характеризовать такими преимуществами как более высокое быстродействие, малая мощность потребления по цепям управления, более простая реализация драйверов (преобразователей уровней) управления, а также возможность интеграции в составе многофункциональных интегральных схем.

Примером использования коммутационных свойств полевого транзистора с

затвором Шоттки является МИС MSP106V, представляющая собой 1-разрядный управляемый аттенюатор с вносимым ослаблением 20 дБ и реализованная на основе технологического процесса 0,15 мкм GaAs pHEMT. Переключение состояний схемы обеспечивают двухпозиционные коммутаторы на входе и выходе, для управления которыми используются напряжения 0/-3,3 В. Минимизация паразитной фазовой конверсии при переключении амплитудных состояний, а также согласование в широкой полосе рабочих частот реализованы за счет интеграции в каждое плечо схемы высокоомных отрезков линий определенной электрической длины. На рисунке 1 представлена топология МИС MSP106V, а также частотные зависимости вносимого ослабления и согласования в различных состояниях и ошибок управления.

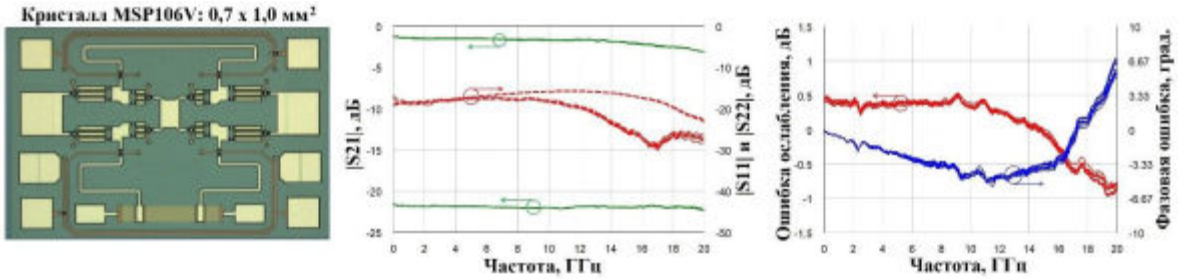


Рисунок 1. Топология кристалла и частотные характеристики MSP106V

Еще одним примером применения полевых транзисторов Шоттки в режиме управляемого сопротивления канала является МИС MSP101D, представляющая собой 5-разрядный управляемый аттенюатор (шаг ослабления 0,9 дБ) и реализованная на основе того же технологического процесса 0,15 мкм GaAs pHEMT. Микросхема содержит в своем составе пять секций с номинальным вносимым ослаблением 0,9 дБ, 1,8 дБ, 3,6 дБ, 7,2 дБ и 14,4 дБ. Для снижения вносимых потерь в опорном состоянии старшие секции («7,2 дБ» и «14,4 дБ»), вносящие основной вклад в паразитную фазовую конверсию аттенюатора, минимизации которой было уделено особое внимание в процессе проектирования, были реализованы без использования двухпозиционных коммутаторов на входе/выходе секций. Коммутационные элементы были интегрированы «внутрь» секций с включением дополнительных элементов (отрезков линий или катушек индуктивности), компенсирующих фазовые набеги, возникающие при переключении состояний [1].

Изначально стояла задача создать параметрический аналог широко известной МИС XA1000-BD от компании M/A-COM (США), однако в процессе проектирования была установлена возможность добиться превосходства по ряду параметров. В итоге МИС MSP101D может быть характеризована как имеющая меньшие (на 2,5 дБ) вносимые потери в опорном состоянии на верхней частоте рабочего диапазона, более широкополосная по критерию среднеквадратичного значения ошибки вносимого ослабления, а также имеющая в рабочей полосе частот меньшую (в 2 раза) паразитную фазовую конверсию при переключении состояний. На рисунке 2 представлена топология МИС MSP101D, а также частотные зависимости вносимого ослабления и согласования в различных состояниях и ошибок управления.

Для возможности использования уровней ТТЛ при управлении состояниями аттенюатора MSP101D на кристалл интегрирован 5-разрядный драйвер управления параллельного типа, секции которого построены на основе дифференциального каскада и требуют одно напряжение питания отрицательной полярности.

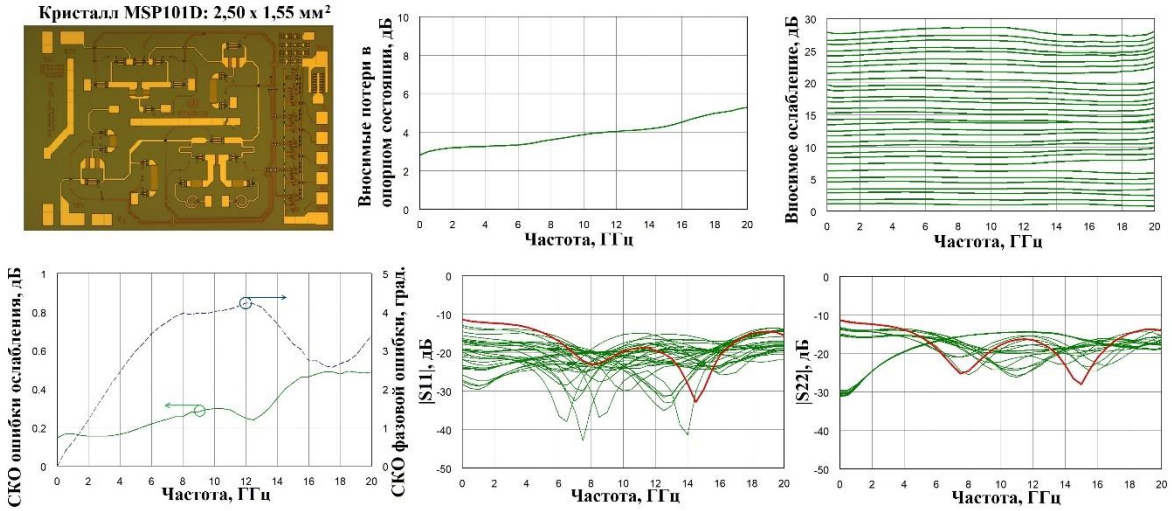
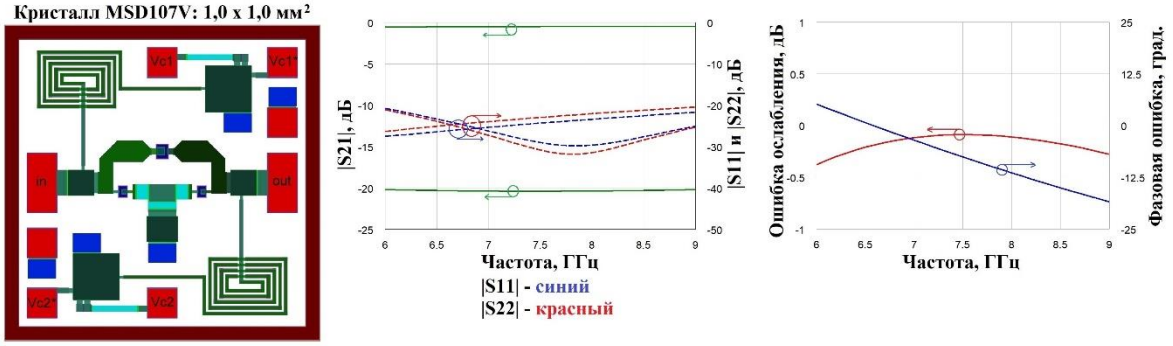


Рисунок 2. Топология кристалла и частотные характеристики MSP101D

Для тех приложений, в которых от аттенюатора требуются минимальные потери в опорном состоянии, а также не предъявляются жесткие требования к фазовой стабильности в широкой полосе частот, в качестве коммутационных элементов могут быть использованы PIN-диоды. В данном случае стоит отметить и экономический эффект – при переходе от достаточно универсальных pHEMT/HEMT технологий к диодным процессам падение стоимости услуг Foundry-партнеров может достигать 3-5 раз, что соответствующим образом сказывается на себестоимости кристаллов собственной разработки. Примером из портфолио АО «Микроволновые системы» может служить линейка 1-разрядных управляемых аттенюаторов MSD10xV с вносимым ослаблением 20 дБ, реализованных на основе GaAs PIN-диодного процесса по схеме Foundry. Узкополосные литеры MSD107V и MSD109V представляют из себя коммутируемые Т-образные секции, в то же время широкополосную литеру MSD108V оказалось более выгодным реализовать на основе П-образной секции ослабления [2]. На рисунке 3 представлены топологии линейки МИС, а также расчетные частотные зависимости вносимого ослабления и согласования в различных состояниях и ошибок управления. Экспериментальные результаты будут получены после проведения полной характеризации образцов микросхем.

Переключение состояний аттенюаторов MSD10xV осуществляется парафазными сигналами 0...0,4 В и 3,7...5 В. В цепях управления имеются высокоомные резисторы, ограничивающие ток до значений, регламентированных основным потребителем МИС. Кроме того, на кристаллах реализованы дополнительные контактные площадки, позволяющие подавать управляющие сигналы через внешние токоограничивающие резисторы, чтобы добиться компромисса между параметрами СВЧ, потреблением тока и быстродействием в прочих приложениях.



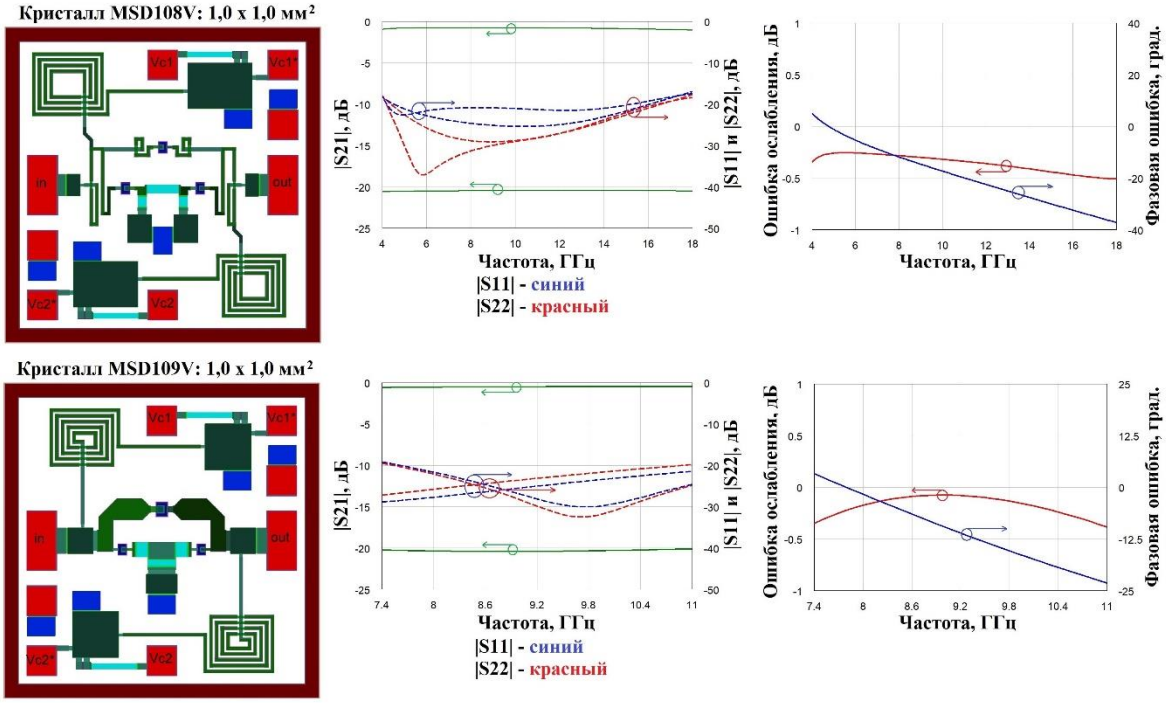


Рисунок 3. Топологии кристаллов и частотные характеристики MSD10xV

Основные параметры разработанных МИС приведены в таблице 1. По уровню достигнутых параметров микросхемы АО «Микроволновые системы» не уступают зарубежным продуктам и могут быть предложены широкому кругу потребителей.

Таблица 1. Основные параметры разработанных МИС аттенюаторов

Наименование параметра, единица измерения	Значение				
	MSP101D	MSP106V	MSD107V	MSD108V	MSD109V
Рабочий диапазон частот, ГГц	0,1-20	0,1-20	6-9	4-18	7,4-11
Вносимые потери (опорное сост.), не более, дБ	5,5	3,2	0,6	1,0	0,6
Коэффициент отражения от вх/вых, не более, дБ	-11	-15	-20	-17	-19
Входная мощность при 1дБ компрессии, дБм	21 [1)]	20 [2)]	20	18	20
Разрядность схемы, бит	5	1	1	1	1
Диапазон вносимого ослабления, дБ	27,9	20	20	20	20
Шаг вносимого ослабления, дБ	0,9	20	20	20	20
Ошибка вносимого ослабления, не более, дБ	1,0	1,0	0,4	0,5	0,4
СКО ошибки вносимого ослабления, не более, дБ	0,5	–	–	–	–
Паразитная фазовая конверсия, не более, град.	14	7	19	38	23
СКО паразитной фазовой конверсии, град	4,5	–	–	–	–
Сигналы управления, В	ТТЛ	0/-3,3	0/5	0/5	0/5
Напряжение питания, В	-5	–	–	–	–

Примечания: [1)] Минимальное значение параметра в диапазоне 2-20 ГГц;
[2)] Минимальное значение параметра в диапазоне 1-20 ГГц.

3. Заключение

Предыдущая активность АО «Микроволновые системы» в разработке МИС СВЧ для собственного применения и внешних заказчиков характеризовалась ориентацией на технологические возможности только лишь зарубежных Foundry-партнеров. Данная позиция диктовалась как ограниченностью технологических возможностей отечественных предприятий, а порой и отсутствием возможностей стабильного серийного выпуска современных мощных или многофункциональных интегральных схем, так и отсутствием экономической эффективности привлечения отечественных микроэлектронных производств в сравнении с зарубежными фабриками, а также использованием покупной ЭКБ. Однако в условиях ужесточившейся санкционной политики АО «Микроволновые системы» в своих будущих проектах планирует освоение производственных возможностей новых Foundry-партнеров, в том числе отечественных, выступая не только как потребитель услуг, но и как партнер, помогая развивать отечественную микроэлектронную отрасль.

Список литературы

1. Ku B. et al. 6-bit CMOS digital attenuators with low phase variations for X-band phased-array systems // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 2010, July. – Vol. 58. – C. 1651–1663.
2. Inder J. Bahl. Control Components Using Si, GaAs and GaN Technologies. – Artech House, 2014.