

Разработка библиотеки стандартных элементов монолитных интегральных схем для галлий-арсенидного технологического процесса с проектной нормой 1 мкм

Представлены результаты разработки библиотеки стандартных элементов монолитных интегральных схем для GaAs технологического процесса с проектной нормой 1 мкм. Полученная библиотека использовалась для разработки усилителей промежуточной частоты, СВЧ переключателя и преобразователя промежуточной частоты в частотном диапазоне до 1,5 ГГц.

Ключевые слова: библиотека стандартных элементов, PDK

Одной из актуальных задач отечественной микроэлектроники является развитие твердотельной СВЧ компонентной базы, каковая активно востребована для разработки и производства широкого спектра СВЧ устройств. Для решения поставленных задач массового производства бескорпусных монолитных интегральных схем (МИС) был разработан стандартный технологический процесс с регламентированным набором фиксированных технологических операций. В качестве активного элемента был выбран полевой транзистор с барьером Шотки (ПТШ) на эпитаксиальной структуре арсенида галлия с длиной затвора 1 мкм. Был разработан набор тестовых элементов параметрического монитора и перечень параметров межоперационного контроля как критериев оценки данного технологического процесса.

Для экстракции параметров моделей был спроектирован комплект фотошаблонов с модельными объектами – ПТШ с различной шириной затвора, встречно-штыревые конденсаторы (ВШК), меза-резисторы, конденсаторы типа метал-диэлектрик-металл (МДМ). Технологический процесс позволяет формировать ПТШ с двумя фиксированными напряжениями отсечки: -1,3 В и -4,9 В. По стандартному технологическому процессу GaAs MESFET10 было изготовлено несколько пластин с библиотечными элементами. Для проведения измерений был создан стенд, состоящий из полуавтоматической зондовой станции, климатической установки, анализатора полупроводниковых приборов и векторного анализатора цепей. Измерения проводились с использованием самостоятельно разработанного программного обеспечения. По результатам статистической обработки измерений была найдена ячейка, описывающая «среднее состояние» технологического процесса, а так же собраны данные для описания технологических вариаций.

Экстракция параметров проводилась с использованием лицензионного САПР AWR Design Environment. Для описания ПТШ была выбрана масштабируемая нелинейная модель EENEMT [1]. Экстракция параметров транзистора проводилась по ячейкам ПТШ с шириной затвора от 50 мкм до 600 мкм и количеством затворов 1 и 2. Измерения проводились при температурах от -60 °С до +125 °С. Малосигнальные параметры были измерены в частотном диапазоне от 10 МГц до 26,5 ГГц.

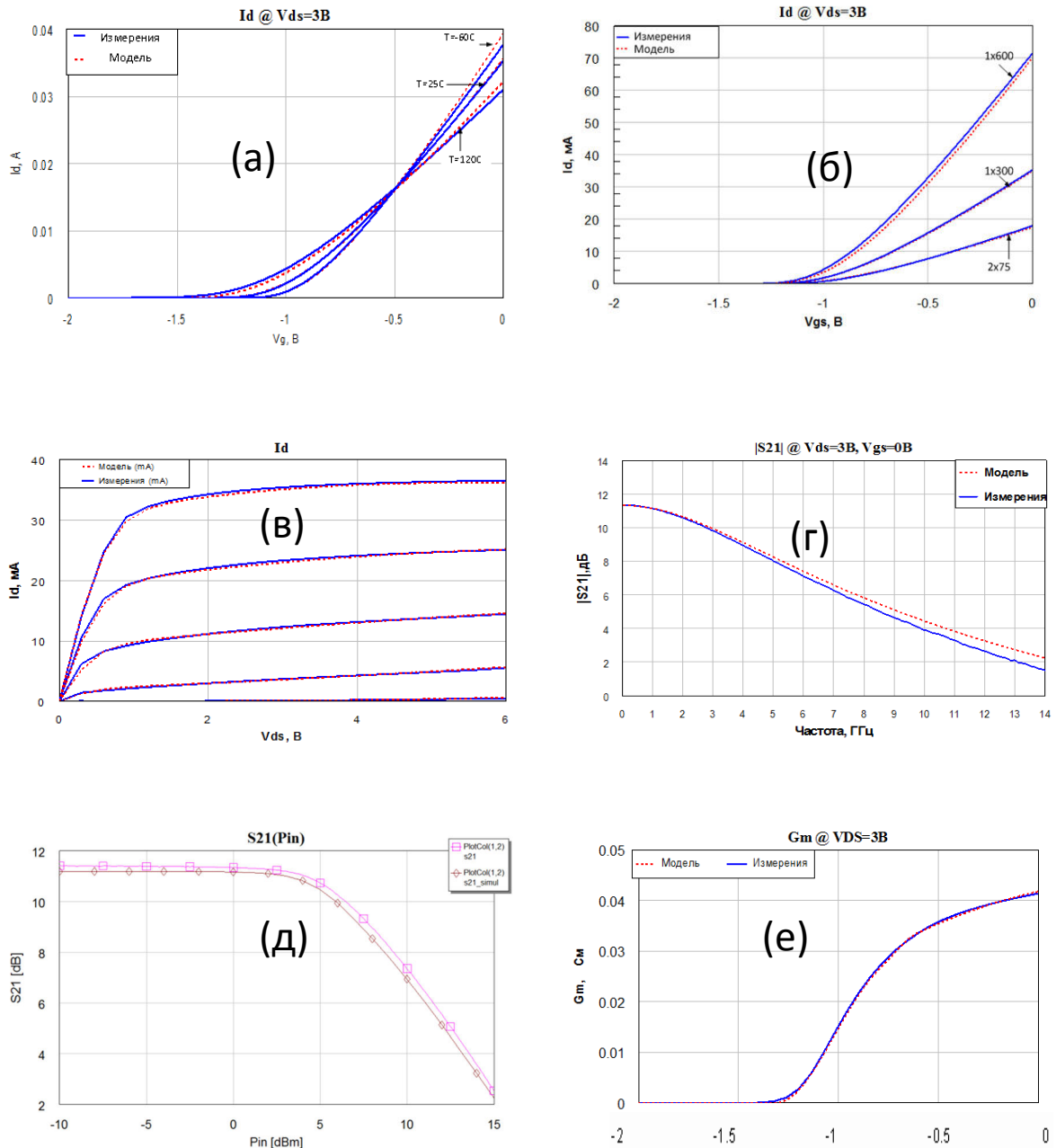


Рисунок 1

Сравнение расчетных и экспериментальных характеристик ПТШ с напряжением отсечки -1.3В :

(а) зависимость тока стока от напряжения на затворе для ПТШ с шириной затвора $300\ \mu\text{м}$ при температурах $-60\ ^\circ\text{C}$, $25\ ^\circ\text{C}$ и $125\ ^\circ\text{C}$;

(б) зависимость тока стока от напряжения на затворе для ПТШ с шириной затвора $600\ \mu\text{м}$, $300\ \mu\text{м}$, $2 \times 75\ \mu\text{м}$ при комнатной температуре;

(в) зависимость тока стока от напряжения на стоке при напряжении на затворе $V_{gs}=0 \dots -0,3 \dots -0,6 \dots -0,9 \dots -1,2\text{В}$;

(г) зависимость коэффициента усиления от частоты для ПТШ с шириной затвора $300\ \mu\text{м}$;

(д) зависимость коэффициента усиления ПТШ от входной мощности;

(е) крутизна для ПТШ с шириной затвора $300\ \mu\text{м}$;

Аналогичным образом была экстрагирована модель ПТШ с напряжением отсечки -4.9В .

Для описания МДМ конденсатора была выбрана модель тонкопленочного конденсатора с удельной емкостью 540 пФ/мм². Для описания GaAs резистора используются линейная и нелинейная модели.

$$R = R_{уд} \cdot \left[\frac{L}{W} \right] + 2 * \frac{R_{конт}}{W}, \text{ где}$$

$R_{уд} = 655 \text{ Ом}/[\text{мкм}]$

$R_{конт} < 0,5 \text{ Ом} * \text{мм}$

Линейная модель применима, если напряжение на его выводах не превышает $0.1 * L$ (мкм) в вольтах.

Для описания насыщения в резисторах использовалась нелинейная модель [2], в которую были добавлены температурные коэффициенты. Встречно-штыревой конденсатор был описан с использованием эквивалентной схемы, учитывающей геометрическую и барьерную емкости ВШК. Параметрами модели являются количество и длина штырей.

Для всех элементов библиотеки стандартных элементов в САПР AWRDE были спроектированы параметризованные топологические ячейки и сконфигурирована связь модельных и топологических параметров. Таким образом, реализован принцип сквозного проектирования, подразумевающий передачу результатов одного этапа проектирования на следующий этап в единой проектной среде. Такой подход позволяет существенно уменьшить количество ошибок при разработке электронных схем. Для автоматической проверки топологии МИС на соответствие правилам проектирования данного технологического процесса в библиотеку элементов включены настройки проверки соответствия правилам проектирования (DRC). Включенная в библиотеку LVS конфигурация позволяет автоматически выявить случайные замыкания в различных слоях металлизации при топологическом проектировании.

После проведения статистической обработки результатов измерений пластин с модельными объектами были выбраны границы значений параметров параметрического монитора. Границы выбирались таким образом, чтобы параметры спроектированного изделия удовлетворяли техническому заданию. Для этого были экстрагированы параметры моделей, соответствующие этим границам, а при схемотехническом проектировании расчет проводился с использованием нескольких наборов моделей, соответствующих различным границам параметрического монитора. Этот метод дает возможность увеличить выход годных МИС и уменьшить количество циклов перепроектирования. Использование этого метода при массовом производстве дает существенный экономический эффект.

Библиографический список

1. MWO/AO Element Catalog [EHEMET](#) [Электронный ресурс]
2. Yu Zhu, Cejun Wei, Oleksiy Klimashov, Cindy Zhang, and Yevgeniy Tkachenko, Scalable Nonlinear Resistor Model for GaAs MMIC - Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference