

Нелинейная модель диода с барьером Шоттки на основе модели из Advanced Design System

В докладе представлены результаты восстановления параметров нелинейной модели GaAs диода с барьером Шоттки с вертикальной структурой. Приведены результаты численных и экспериментальных измерений единичного диода и диода в составе МИС ограничителя СВЧ мощности. Проведены испытания на прохождение коротких видеоимпульсов через ограничитель СВЧ мощности.

Ключевые слова: диод с барьером Шоттки, нелинейная модель диода, быстродействие диода, ограничитель мощности.

Диоды с барьером Шоттки являются наиболее быстродействующими среди полупроводниковых диодов. Перспективно их применение в качестве активных элементов управляющих устройств СВЧ таких, как ограничители мощности, аттенюаторы, переключатели. Для моделирования таких устройств необходимо знать параметры нелинейной модели диода.

В работе использовалась модель диода с pn-переходом (PN-Junction Diode Model) из стандартной библиотеки Advanced Design System (ADS) [1]. Для масштабируемости в модель диода были включены зависимости основных параметров диода от размеров анода. Восстановление параметров проводилось для диода с двумя анодами размером 8x3 мкм. Масштабируемая модель и восстановленные параметры модели диода с двумя анодами 8x3 мкм приведены на рис. 1 и в таблице 1.

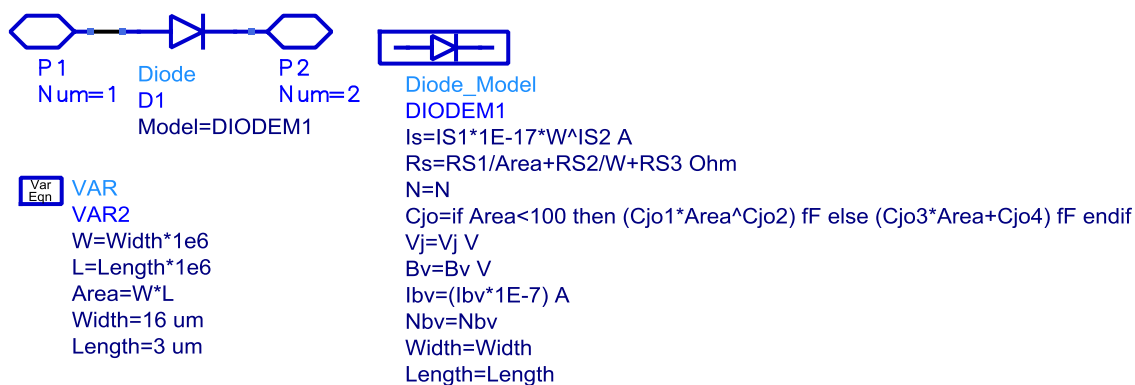


Рис. 1. Масштабируемая модель диода в ADS

Таблица 1 – Основные параметры модели диода

Название параметра	Значение
Ток насыщения, I_s	$5,7 \times 10^{-11} \text{ A}$
Барьерная емкость при нулевом смещении, C_{j0}	35 фФ
Последовательное сопротивление, R_s (при $I_{пр}=10 \text{ mA}$)	8 Ом
Постоянное прямое напряжение, V_j (при $I_{пр}=10 \text{ mA}$)	0,7 В

Обратное напряжение пробоя, V _v (при I _{обр} =10 мкА)	3 В
Начальный ток пробоя, I _v (при U _{обр} =V _v В)	10×10 ⁻⁶ А

Восстановление параметров модели

Емкость диода с площадью анода 48 мкм² (2 пальца по 8х3 мкм) составляет десятки фемто фард, что не позволяет измерить ее с достаточной точностью. Поэтому для восстановления значения барьерной емкости использовался тестовый элемент (рис. 2) состоящий из диода с размерами анода 100х100 мкм. Измеренная емкость такого диода приведена к требуемой площади диода.

Последовательное сопротивление определялось на готовой МИС ограничителя мощности двумя способами: четырехпроводным методом Кельвина, с помощью измерителя LCR E7-12 и методом однопортовых измерений S-параметров на 1 ГГц, с последующим расчетом сопротивления. Измерения проводились при разном напряжении смещения. Отличие измеренных сопротивлений вышеуказанными методами составило 0,2-0,5 Ом. Результаты измерений сопротивления диода при разном смещении представлены на рис.3.

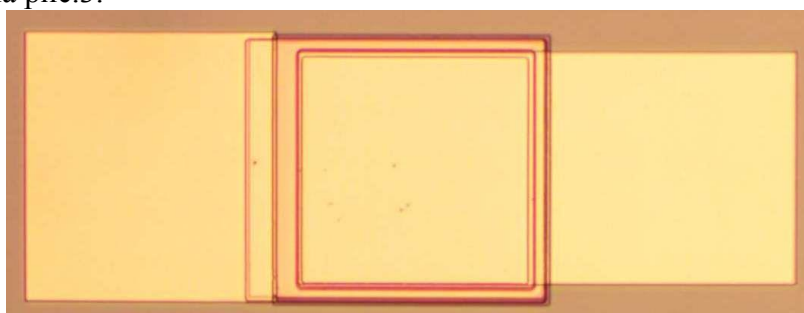


Рис. 2. Фотография тестового элемента

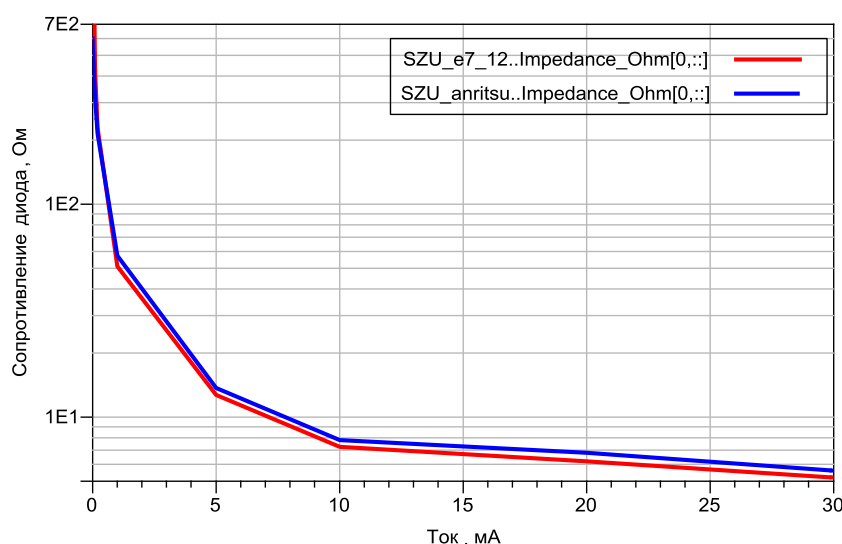


Рис. 3. Зависимость сопротивления диода от прямого тока

Для восстановления параметров диодов (коэффициента идеальности, постоянного прямого напряжения, тока насыщения, обратного напряжения пробоя, начального тока пробоя) использована методика, описанная [2].

На рис.4. показаны вольт-амперные характеристики восстановленной модели диода и измеренного диода.

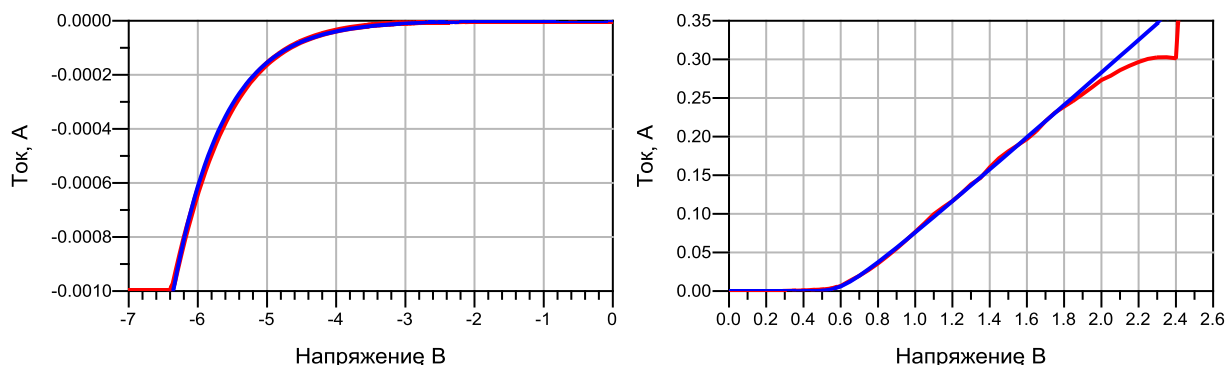


Рис. 4. Расчетная (сплошная линия) и экспериментальная (пунктирная линия) ВАХ диода

Быстродействие единичного диода оценивалось при прохождении через него сигнала типа ступенька. Результат представлен на рис. 5.

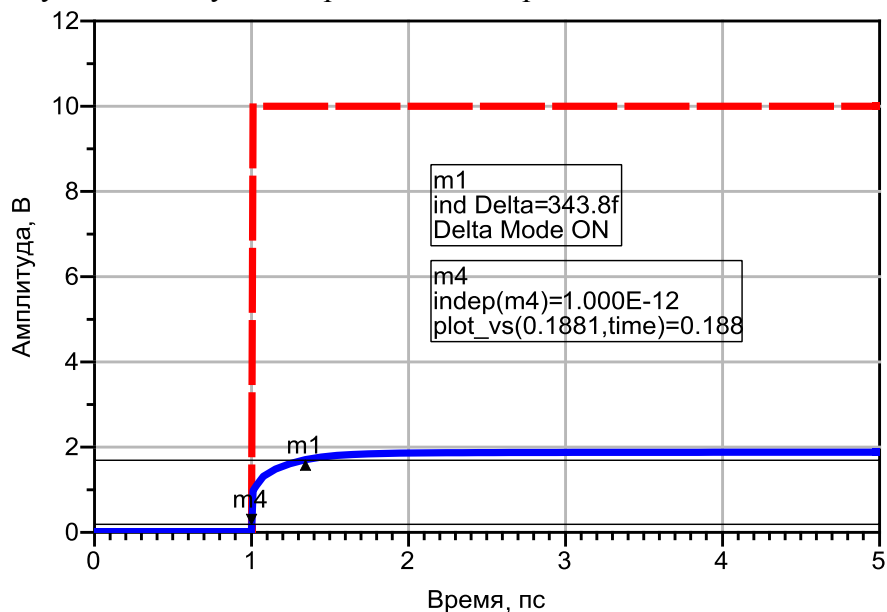


Рис. 5. Временная характеристика диода на прохождении сигнала типа ступенька

Проверка модели диода

Для проверки восстановленной модели ДБШ сравнивались результаты измерений МИС ограничителя СВЧ мощности М44427 литеры 2 с расчетной электродинамической моделью данной МИС с подставленными в нее моделями ДБШ. Конструкция данной МИС позволяет проверить модель диода на масштабируемость, так как состоит из двух каскадов встречно-параллельных диодов с одним и двумя анодами. Сравнение малосигнальных амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) представлены на рис.6, динамических характеристик представлены на рис.7.

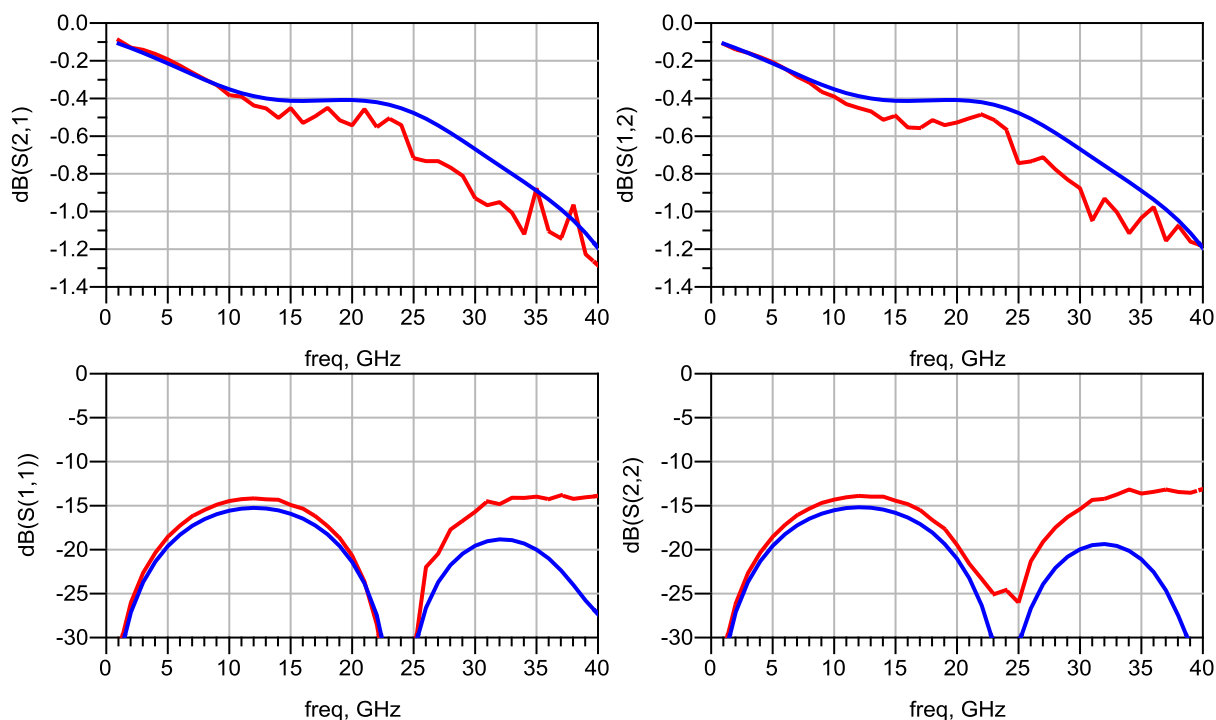


Рис. 6. Расчетная (сплошная линия) и экспериментальная (пунктирная линия) АЧХ ограничителя СВЧ мощности

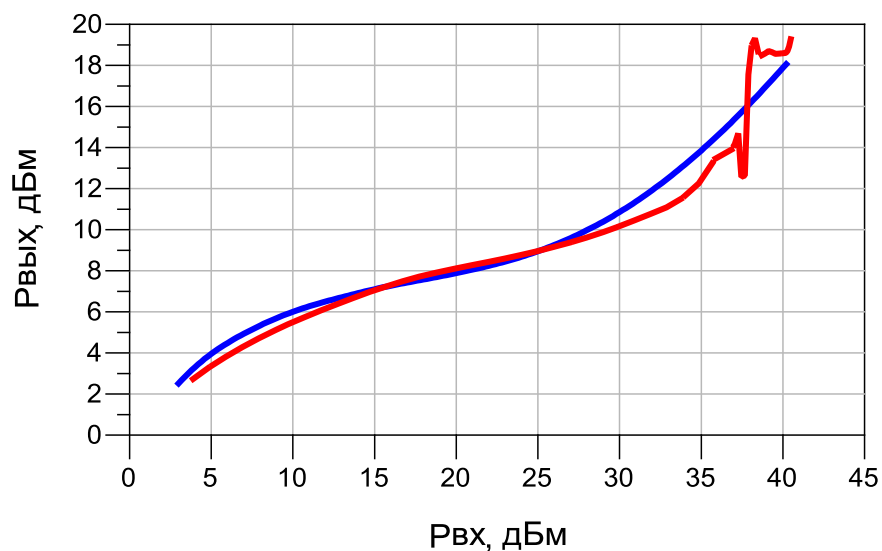


Рис. 7. Расчетная (сплошная линия) и экспериментальная (пунктирная линия) динамическая характеристика ограничителя СВЧ мощности

Была предпринята попытка оценить быстродействие диодов с барьером Шоттки в реальном устройстве МИС ограничителя СВЧ мощности М44427 литера 2. На рис.8 представлен результат испытания. Входной видеоимпульс с длительностью 2 нс, длительностью фронта и спада 0,6 нс и амплитудой 10 В. На выходе ограничителя мощности получили видеоимпульс с ограниченной амплитудой, которая повторяет неравномерность амплитуды входного сигнала, что говорит о высоком быстродействии.

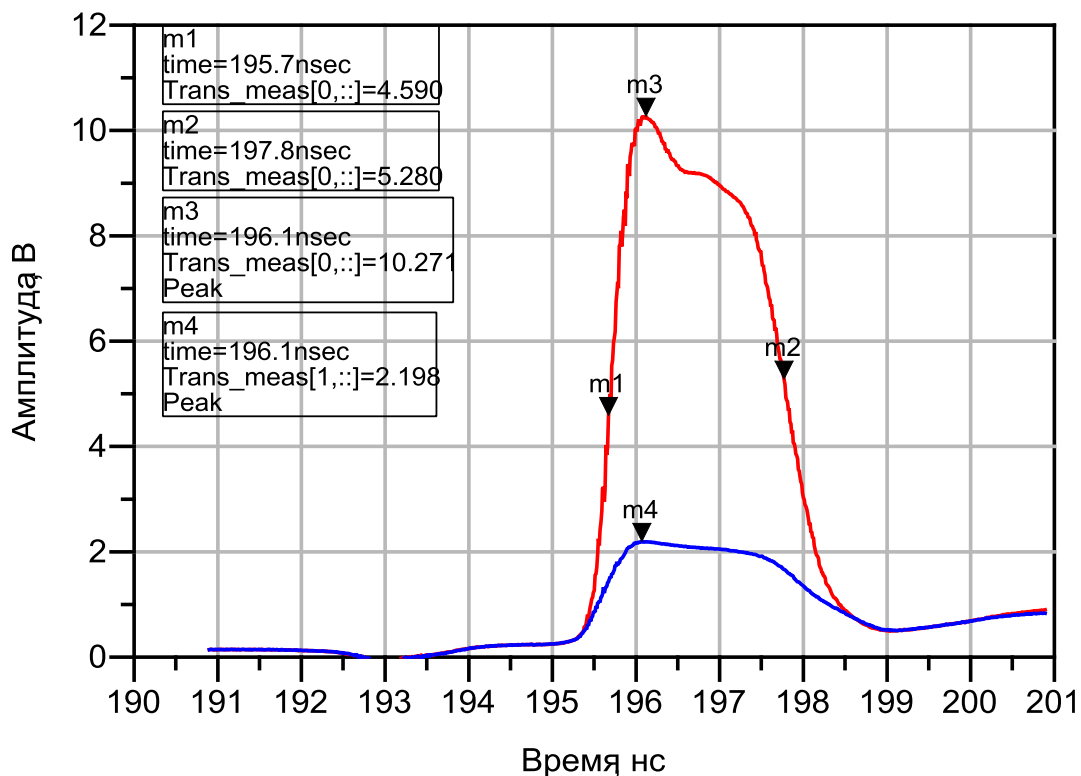


Рис. 8. Результат испытания на прохождение видеоимпульса ($U=10$ В, $t_{\text{имп}}=2$ нс) через ограничитель мощности

Заключение

В докладе приведены методики восстановления параметров нелинейной модели диода. Сравнение результатов моделирования с экспериментальными измерениями, как единичного диода, так и диодов в составе МИС ограничителя мощности показали корректность построенной модели.

Так как при изготовлении МИС присутствует технологический разброс, то в дальнейшем можно добавить в параметры модели критерии разброса.

Испытания на прохождение коротких видеоимпульсов качественно показали высокое быстродействие как единичного диода с барьером Шоттки, так и устройства в целом.

Благодарим коллег из АО «Светлана-Электронприбор» за помощь в проведении импульсных измерений.

Библиографический список

1. Advanced Design System 2016 Nonlinear Devices., Keysight Technologies, 2016, pp. 346-360.
2. Fukui H. Determination of the Basic Device Parameters of a GaAs MESFET. Bell System Technical Journal, March 1979, p. 771-797.