

УДК 621.382.001.63

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХЗОНДОВОГО НАНОМАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ БИПОЛЯРНОГО N-P-N -ТРАНЗИСТОРА

д.т.н.В.А.Пилипенко, В.А.Солодуха, к.ф.-м.н.А.Н.Петлицкий, С.В.Шведов,  
А.К.Панфиленко, к.т.н.Т.В.Петлицкая, В.А.Филипеня, Д.В.Жигулин  
ОАО "ИНТЕГРАЛ"-управляющая компания холдинга "ИНТЕГРАЛ"  
[office@bms.by](mailto:office@bms.by)

*В работе представлены результаты по получению вольтамперных характеристик (ВАХ) биполярного n-p-n- транзистора в составе микросхемы с субмикронными проектными нормами. Измерения проводились с использованием растрового электронного микроскопа. Зонды устанавливались на вольфрамовые столбики. Для подготовки образца использовался метод прецизионной химико-механической подготовки.*

*Ключевые слова: интегральная микросхема, биполярный транзистор, ВАХ, столбиковые контакты, нанозонды, химико-механическая полировка.*

Перед разработчиками и производителями микросхем с субмикронными проектными нормами остро стоит вопрос измерения электрических характеристик элементной базы непосредственно на кристалле микросхемы. Особенно часто такая задача встречается при анализе изделий отказавших у потребителя или в процессе испытаний на надежность и долговечность.

Одним из вариантов решения указанной проблемы измерения электрических характеристик элементной базы субмикронных изделий с проектными нормами до 45 нм является использование 4-х зондового наноманипулятора в сочетании с растровым электронным микроскопом.

Особенность таких измерений состоит в том, что контактирование зондов осуществляется не к шинам первого уровня металлизации, а к столбиковым контактам к активным областям, на которых располагаются шины первого уровня металлизации.

Работа по измерению ВАХ делится на 2 этапа: непосредственно измерение характеристик путем контактирования нанозондов к столбиковым контактам и предшествующая этому прецизионная пробоподготовка образца. Зачастую приходится анализировать микросхемы с двумя и более уровнями металлизации. Для того чтобы дойти до контактов к активным областям, необходимо аккуратно послойно сверху вниз удалять диэлектрические и металлические слои структуры микросхемы, задействовав при этом химическое и плазмохимическое травление, а также химико-механическую полировку. При этом необходимо обеспечить сохранение исходных электрических характеристик элементов ИМС.

В работе представлены полученные ВАХ биполярного транзистора микросхемы с проектными нормами 0.35 мкм. Микросхема имеет 3 уровня металлизации, выполнена по технологии БиКМОП.

Благодаря высокоточной пробоподготовке на поверхности кристалла ИМС остались активные слои, а также вольфрамовые столбики контактов к областям базы, эмиттера, коллектора. Таким образом была обеспечена электрическая изоляция отдельных элементов микросхемы друг от друга. Это позволило успешно осуществить контактирование с помощью нанозондов к отдельным элементам и получить вольтамперные характеристики субмикронного биполярного n-p-n - транзистора.

Исследования проведены с использованием 4-х зондовый наноманипулятор Probe Workstation ф. Kleindiek Nanotechnik (США) в сочетании с растровым электронным микроскопом S-4800 ф. Hitachi (Япония). Манипулятор обладает низкими токами утечки и позволяет обеспечить измерения величины токов от 0,2 пА до 100 мА в диапазоне напряжений до 100 В. Возможность анализа субмикронных изделий достигается за счет использования контактирующих зондов с радиусом закругления до 100 нм.

На рисунке 1 представлено РЭМ-фото схемы подключения зондов наноманипулятора к областям эмиттера, базы и коллектора соответственно. На рисунках 2 в качестве примера представлена зависимость коэффициента усиления биполярного n-p-n – транзистора от тока базы при различных значениях напряжения на коллекторе.

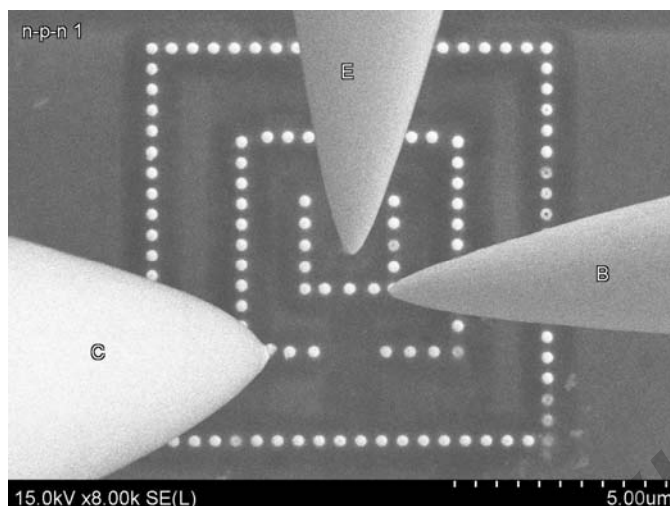


Рис.1. РЭМ-фото нанозондов, установленных на области эмиттера (Е), базы (В), коллектора (С) биполярного n-p-n транзистора

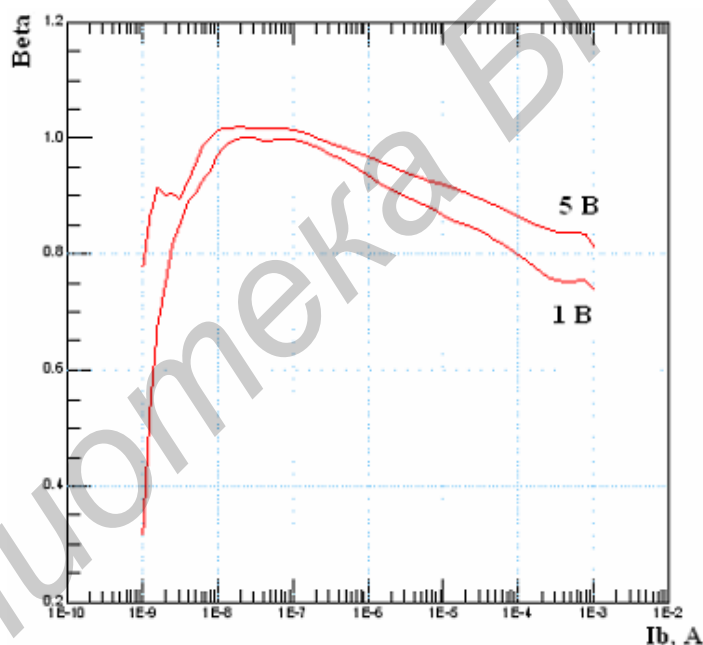


Рис.2. Зависимость коэффициента усиления Beta биполярного n-p-n – транзистора от тока базы  $I_b$  при значении напряжения на коллекторе 1 и 5 В

Application of four probe nanomanipulator for measurement of the Volt-ampere characteristics of bipolar n-p-n -transistor

V. A. Pilipenko, V. A. Solodukha, A. N. Pyatlitski, S. V. Shvedau, A. K. Panfilenko, T. V. Piatlitskaya, V. A. Filipenya, D. V. Zhigulin

*The work presents the results on obtaining the voltage-current characteristics of a Bipolar n-p-n- transistor in composition of a microcircuit with the submicron design rules. Measurements were performed with application of the raster electron microscope. The probes were set on the tungsten bumps. The method of the precision chemical-mechanical preparation was used for preparation of a sample.*

*Key words: integrated microcircuit, Bipolar transistor, voltage-current characteristics, bump contacts, nanoprobe, chemical-mechanical polishing.*