

УДК 621.382.001.63

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХЗОНДОВОГО НАНОМАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ 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. Филипена, Д. В. Жигулин

ОАО «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»
office@bms.by

Представлены полученные вольт-амперные характеристики 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 четырехзондового 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 два 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 три 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 вольт-амперные характеристики субмикронного биполярного $n-p-n$ -транзистора.

Исследования проведены с использованием четырехзондового наноманипулятора Probe Workstation фирмы Kleindiek Nanotechnik (США) в сочетании с растровым электронным микроскопом S-4800 фирмы 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.

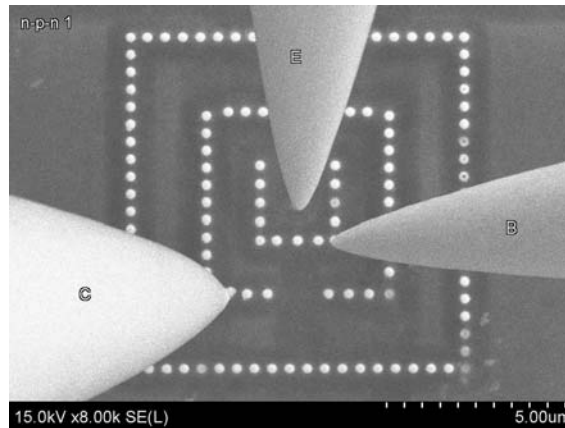


Рис. 1. РЭМ-фото нанозондов, установленных на области эмиттера (E), базы (B), коллектора (C) биполярного $n-p-n$ -транзистора

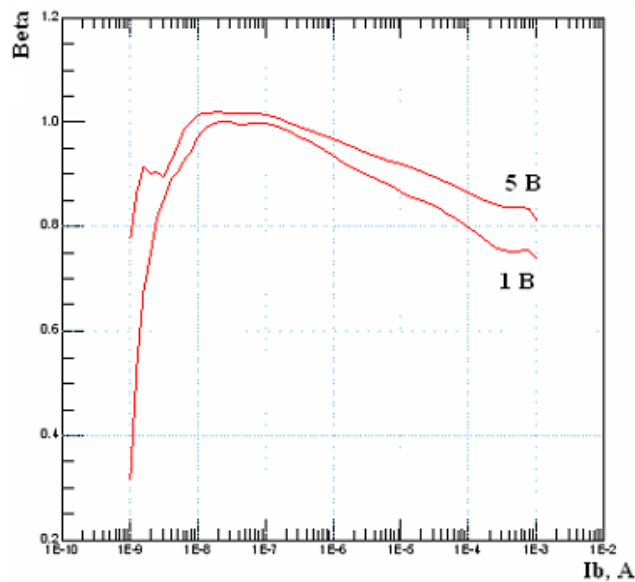


Рис. 2. Зависимость коэффициента усиления Beta биполярного $n-p-n$ -транзистора от тока базы I_b при значении напряжения на коллекторе 1 и 5 В

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

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

Application of four-point probe nanomanipulator for measuring current-voltage characteristics of bipolar $n-p-n$ -transistor

The work presents the obtained current-voltage characteristics of a bipolar $n-p-n$ - transistor as part of a microcircuit with submicron design rules. Measurements were performed using the raster electron microscope. The probes were set on the tungsten bumps. Samples were prepared using the method of the precision chemical-mechanical preparation.

Keywords: *integrated microcircuit, Bipolar transistor, voltage-current characteristics, bump contacts, nanoprobes, chemical-mechanical polishing.*