

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ МЕТОДОМ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Д. т. н. В. А. Пилипенко, к. т. н. В. А. Солодуха, к. ф.-м. н. А. Н. Петлицкий,  
к. т. н. Т. В. Петлицкая, В. А. Филипена

ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»  
Беларусь, г. Минск  
office@bms.by

*Рассмотрены возможности использования импедансной спектроскопии для анализа параметров барьерных полупроводниковых структур микро- и нанoeлектроники, переходных сопротивлений при изготовлении интегральных микросхем. Представлены результаты по исследованию контактных цепочек «металл — металл», «металл — кремний (поликремний)» для алюминиевых контактов и вольфрамовых столбиков.*

*Ключевые слова: импедансная спектроскопия, контактное сопротивление, интегральная микросхема, вольфрамовый столбик.*

В настоящее время количество транзисторов на кристалле микропроцессора уже достигло 10 миллиардов, при этом количество контактов на кристалле как минимум в три раза больше. Основными требованиями к изготовленным контактам являются их воспроизводимость и надежность. Высокая надежность изготавливаемых изделий микроэлектроники обеспечивается, кроме всего прочего, и применением современных методов диагностики элементной базы микроэлектроники.

Настоящая работа посвящена разработке и апробации метода импедансной спектроскопии для анализа базовых элементов микроэлектроники, в особенности контактных цепочек «металл — металл», «металл — полупроводник».

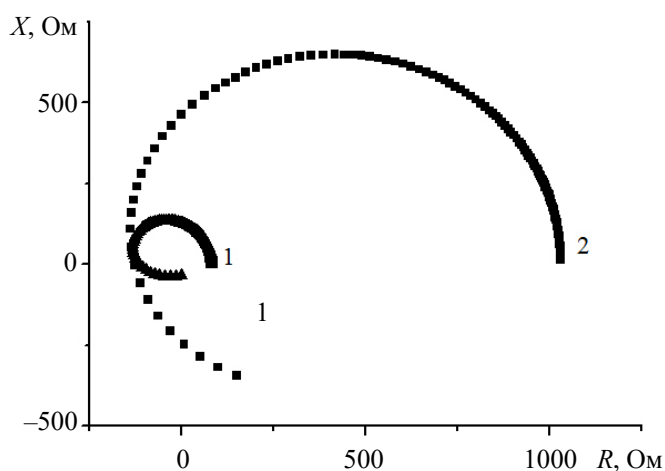
Измерения только активного сопротивления цепочек контактов не позволяет в полной мере оценить влияние активной площади контактов, а также конфигурации проводников на общее сопротивление. Импедансная спектроскопия основана на измерении и анализе зависимости комплексного электрического сопротивления (импеданса) от частоты переменного тока [1].

Одним из этапов обработки результатов измерений методом импедансной спектроскопии на переменном токе является построение и анализ эквивалентных схем (ЭС) замещения, т. е. электрических цепей, имеющих ту же зависимость импеданса от частоты, что и изучаемый образец. ЭС состоят, как правило, из нескольких различных элементов: резисторов, конденсаторов, индуктивности. На каждом этапе анализа рассматривают простейшую схему замещения (например, двухэлементную — резистор и конденсатор). Определив величину емкости или сопротивления какого-либо из элементов, его исключают из общего измеренного импеданса (адмиттанса и т. д.), и затем остаток преобразовывают в следующую схему (представление). Так поступают до тех пор, пока не будут определены все параметры многокомпонентной ЭС замещения.

Обычно измерения частотных зависимостей импеданса выполняют в интервале частот от единиц Гц до десятков МГц. В общем случае, чем шире частотный диапазон, тем точнее можно составить ЭС замещения. Следует иметь в виду, что удачный выбор ЭС предполагает не только совпадение зависимостей импеданса  $Z(\omega)$  исследуемого образца и ЭС замещения, но и согласованность ЭС с физической моделью системы. Составить наглядное представление о поведении частотной зависимости импеданса можно, построив его годограф. Под годографом будем понимать траекторию, описываемую на комплексной плоскости вектором  $Z$ .

Измерение импеданса цепочки контактов проводилось при напряжении 5 В в частотном диапазоне от 10 Гц до 30 МГц с использованием векторного анализатора цепей Keysigt E5061B.

Исследование амплитудно-частотных характеристик импеданса цепочки контактов «металл — металл», «металл — кремний», «металл — поликремний» показывает, что в диапазоне частот до 1 МГц основной вклад в импеданс вносит активное сопротивление, вклад емкости и индуктивности несущественен, однако в диапазоне частот выше 1 МГц к активному сопротивлению добавляется емкость. Емкостная составляющая импеданса говорит о том, что непосредственно в месте контакта может находиться прослойка оксида кремния или оксида алюминия и, соответственно, контакт к нижележащему слою не полный, что и приводит к завышенному активному сопротивлению контакта и, как следствие, изменению характеристик элементов интегральных микросхем. Наличие шумов на амплитудно-частотной характеристике импеданса также показывает наличие проблем в цепочке контактов, в частности означает ненадежный контакт.



Нодограф сопротивления цепочки  
1000 контактов «металл — металл»:  
1 — алюминиевые контакты;  
2 — вольфрамовые столбики

На рисунке приведены нодографы сопротивления цепочки, состоящей из 1000 контактов «металл — металл»: вольфрамовых столбиков, изготовленных на пластине диаметром 200 мм, и алюминиевых контактов, изготовленных на пластине диаметром 150 мм.

С использованием нодографа для вольфрамовых столбиков была смоделирована ЭС и рассчитаны ее параметры. ЭС состоит из сопротивления контактной цепочки  $R_k = 1156,8$  Ом и последовательно включенной цепочки, состоящей из параллельно включенных сопротивлений проводников  $R_{пр} = 127,2$  Ом и переменной емкости  $C = 20,97$  пФ.

Таким образом, применение метода импедансной спектроскопии позволяет проанализировать вклад в общее сопротивление элементов интегральных микросхем паразитных составляющих активного и/или реактивного сопротивления и оценить качество их изготовления.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Поклонский Н.А., Горбачук Н.И. Основы импедансной спектроскопии композитов.— Мн.: БГУ, 2005.

V. A. Pilipenko, V. A. Saladukha, A. N. Pyatlitski, T. V. Piatlitskaia, V. A. Filipenya

#### Investigation of parameters of integrated circuit base elements by the method of impedance spectroscopy

*The paper considers the possibilities of using impedance spectroscopy to analyze the parameters of barrier semiconductor structures of micro- and nanoelectronics, and transition resistance in the manufacture of integrated circuits. The results of the study of metal – metal, metal – silicon (polysilicon) contact chains for aluminum contacts and tungsten pads are presented.*

*Keywords: impedance spectroscopy, contact resistance, integrated circuit, tungsten pad.*