

бросом. Диаграмма статистик Менделя h показана на рисунке 2.

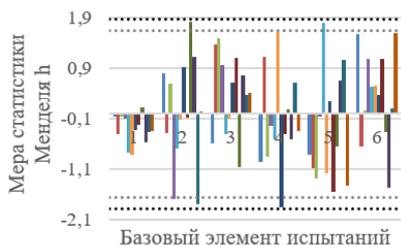


Рисунок 2 – Меры статистики Менделя h измерений при использовании датчиков с чувствительным элементом, представляющим собой магнит, предназначенный для контроля напряжений в никелевых покрытиях

Дополнительно графический анализ данных на совместимость был проведен с использованием мер статистики Менделя k , рассчитанными по формуле:

$$k_{ij} = \frac{s_{ij}\sqrt{p_j}}{\sqrt{\sum s_{ij}^2}}$$

Диаграмма статистик Менделя k измерений величины, пропорциональной магнитоотрывному усилию, показана на рисунке 3. Для того, чтобы определить, какие из рассчитанных значений k_{ij} являются выбросами, или квазивыбросами, на диаграмму наносятся линии критических значений. Согласно СТБ ИСО 5725, для $p = 6$ и количества измерений в базовом элементе, равным 10, критические значения равны 1,47 и 1,33 для 1 % и 5 % соответственно.

Обработка выбросов происходила по диаграммам (рисунки 2 и 3) следующим образом: при наличии единичных выбросов у оператора, эти значения удалялись, в случае же, если у одного оператора более половины измерений были либо выбросами, либо квазивыбросами, сам оператор обозначался выбросовым и не учитывался в дальнейших расчетах.

УДК 621.317.799:621.382

МАТРИЧНЫЙ КОММУТАТОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВАХ И ВФХ

Лисенков Б.Н., Грицев Н.В.

ОАО «МНИПИ»

Минск, Республика Беларусь

При тестировании изделий микроэлектроники возникает необходимость измерения вольтамперной (ВАХ) и вольтфарадной (ВФХ) характеристик объекта тестирования (ОТ), которые предъявляют к измерительному тракту противоречивые требования.

Достоверный результат измерения ВАХ в области малых токов и больших сопротивлений получают за счет устранения паразитных токов

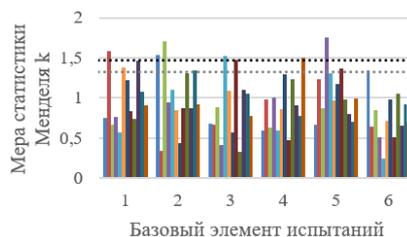


Рисунок 3 – Меры статистики Менделя k измерений при использовании датчиков с чувствительным элементом, представляющим собой магнит, предназначенный для контроля напряжений в никелевых покрытиях

После обработки выбросов для каждого уровня были рассчитаны дисперсии повторяемости и дисперсии воспроизводимости, которые впоследствии были пересчитаны в коэффициенты вариации и показаны на рисунке 4.

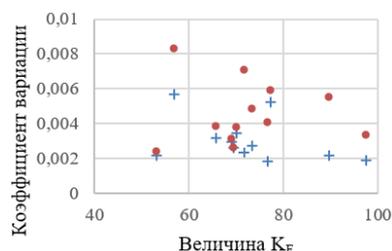


Рисунок 4 – Зависимость коэффициентов вариации повторяемости (+) и воспроизводимости (•) от величины K_F

Проведенные испытания показали высокую прецизионность результатов измерений всеми операторами: коэффициенты вариации измеренных значений K_F , рассчитанные по дисперсиям S_r^2 и S_R^2 , на всех уровнях не превышают 1%. Установлено, что значения дисперсий S_r^2 и S_R^2 практически не зависят от толщины контролируемого образца или внутренних напряжений в нем. При этом коэффициент вариации измеренных значений K_F снижается при увеличении толщины контролируемого образца.

утечки с помощью «охранной» поверхности и использования триаксиальных кабелей. При измерении ВФХ используют высокочастотный испытательный сигнал и коаксиальные кабели. Это требует перестройки измерительного тракта при тестировании ОТ.

В автоматизированных системах, выбор триаксиального или коаксиального тракта осуществляют с помощью матричного коммутатора

(МК), который должен обеспечить малые утечки при измерении ВАХ и малые искажения высокочастотного сигнала при измерении ВФХ.

Традиционный метод построения удовлетворяющего этим требованиям МК основан на введении в матрицу коммутации, состоящую из линий и колонок, дополнительных линий. При этом часть линий обеспечивает работу в триаксиальном тракте, а часть – в коаксиальном. Колонки матрицы, предназначенные для подсоединения МК к контактам ОТ, принимают участие в работе и того и другого тракта.

Очевидно, что увеличение количества линий матрицы ведет к увеличению количества узлов, то есть к увеличению количества реле и влечет за собой существенное усложнение конструкции и снижение надежности коммутатора.

Согласно разработанному методу формирования матрицы коммутации все ее линии и колонки используются при измерении как ВАХ, так и ВФХ благодаря коммутации линий матрицы к соответствующему триаксиальному или коаксиальному тракту с помощью дополнительных реле, объединенных в модуль коммутации. Этим обеспечивается многократное снижение количества узлов, по сравнению с традиционным методом.

Благодаря применению в узлах двоярных герконных реле, матрица осуществляет коммутацию двух, связанных между собой сигналов. При измерении ВАХ, наряду с испытательным сигналом, матрица коммутирует соответствующий ему сигнал «охраны», а при измерении ВФХ – возвратный ток, соответствующий высокочастотному испытательному сигналу, протекающему по экранирующей оплетке коаксиального кабеля.

На рисунке 1 представлена структурная схема разработанной матрицы коммутации.

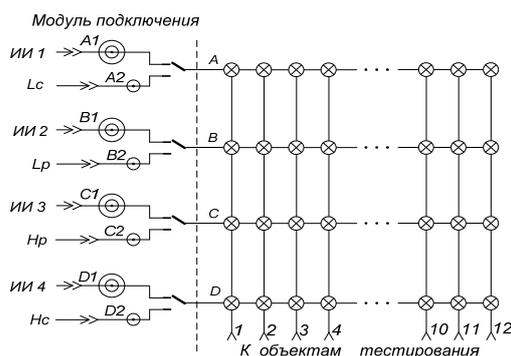


Рисунок 1 – Структурная схема матрицы коммутации с модулем подключения:

- ⊗ – двоярное герконное реле; $A1, B1, C1, D1$ – гнезда триаксиального тракта; $A2, B2, C2, D2$ – гнезда коаксиального тракта; A, B, C, D – линии матрицы коммутации; $1-12$ – выходные порты
- $III1-III4$ – сигналы измерителя ВАХ;
- Lc, Lp, Hc, Hp – сигналы измерителя импеданса

Модуль подключения, содержит 4 триаксиальных гнезда ($A1, B1, C1, D1$) для подключения измерителя ВАХ, 4 изолированных коаксиальных гнезда ($A2, B2, C2, D2$) для подключения измерителя импеданса и переключатели на два направления, отвечающие за подключение линий матрицы к триаксиальному или коаксиальному тракту.

Матрица коммутации выполнена в виде отдельного модуля в состав которого входят разъемы 1–12.

Результаты измерения емкости с помощью современных цифровых измерителей импеданса, основанных на автобалансировке моста операционным усилителем (метод вольтметра-амперметра), зависят от схемы подключения измеряемой емкости к измерителю импеданса. Наиболее востребованными схемами подключения являются схемы типов 2Т и 4Т.

Схема типа 4Т минимизирует ошибки, связанные с сопротивлением кабелей и контактов, что важно при измерении малых значений импеданса (большие емкости), а схема 2Т обеспечивает проведение измерений на более высокой частоте [1].

Поэтому, тип схемы подключения целесообразно изменять в зависимости от условий проведения измерений, то есть непосредственно в процессе тестирования.

Разработан метод изменения схемы подключения матрицы коммутации при измерении импеданса путем введения дополнительных операций коммутации, с помощью которых можно одновременно объединять испытательные сигналы в трактах Lc, Lp и Hc, Hp и объединять возвратные токи во всех этих трактах до их подачи на матрицу коммутации.

Возможность оперативного управления схемой подключения матрицы коммутации в процессе тестирования позволяет расширить диапазоны измерительных частот и измеряемых емкостей.

Структурная схема модуля подключения, реализующая предложенный метод изменения типа схемы подключения, представлена на рисунке 2.

При разомкнутых контактах реле $S5-S7$ модуль подключения формирует схему типа 4Т, при замыкании контактов реле $S5-S7$ – схему типа 2Т.

Из рисунка 2 видно, что объединение испытательных сигналов и соответствующих им возвратных токов возможно только в коаксиальном тракте, к которому подключен измеритель импеданса.

Таким образом, разработанный матричный коммутатор обеспечивает тестирование ВАХ и ВФХ, лишен существенной избыточности по количеству герконных реле и связанных с этим конструктивных и технологических затрат при-

сущих известным моделям коммутаторов и обеспечивает возможность управления схемой подключения при измерении емкостных параметров.

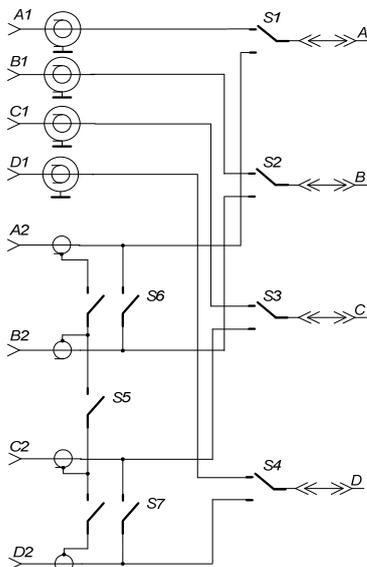


Рисунок 2 – Структурная схема модуля подключения:

A1, B1, C1, D1 – гнезда триаксиального тракта;
 A2, B2, C2, D2 – гнезда коаксиального тракта;
 A, B, C, D – линии матрицы коммутации;
 S1–S7 – двойные герконные реле

Внешний вид задней панели коммутатора, на которой расположены гнезда триаксиального тракта A1, B1, C1, D1 для подключения измерителя ВАХ, изолированные гнезда коаксиального тракта A2, B2, C2, D2 для подключения цифрового измерителя импеданса, 12 портов матрицы коммутации, выполненные на основе клеммников разъемных и сетевой разъем питания, представлен на рисунке 3.

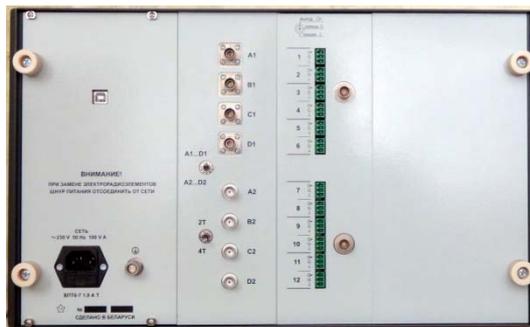


Рисунок 3 – Внешний вид МК, объемом 4×12, со стороны задней панели

Использование клеммников разъемных позволяет подсоединять к 12 портам МК контакты тестируемых изделий микроэлектроники с помощью триаксиальных или коаксиальных кабелей, в зависимости от требований к точности измерений и себестоимости оборудования.

Основные параметры разработанного матричного коммутатора, при использовании триаксиального тракта (измерение ВАХ) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Ток смещения канала коммутации	≤0,2 нА
Напряжение смещения через 5 мин. после замыкания реле	≤0,2 мВ
Сопротивление изоляции	≥10 ГОм
Сопротивление канала коммутации	≤2 Ом

Полоса пропускания МК, при использовании коаксиального тракта (измерение ВФХ) составляет 10 МГц.

Литература

1. Keysight Technologies. The Parametric Measurement Handbook [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.keysight.com/find/>. – Дата доступа 14.03.2019.

УДК 543.645:57.033

БИОСЕНСОРНОЕ УСТРОЙСТВО ЕМКОСТНОГО ТИПА С КОНЦЕНТРИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Люцко К.С.¹, Реутская О.Г.¹, Плескачевский Ю.М.¹, Песнякевич А.Г.², Таратын И.А.³

¹Белорусский национальный технический университет
 Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет
 Минск, Республика Беларусь

³ОАО «Минский НИИ радиоматериалов»
 Минск, Республика Беларусь

Одно из наиболее динамично развивающихся направлений измерительной техники в последние несколько десятилетий связано с разработкой и исследованием биосенсорных устройств. Из всего многообразия особое место занимают электрохимические биосенсорные устройства, интерес к которым обусловлен, с одной стороны, возможностью достижения вы-

сокой чувствительности, а с другой – минимальным объемом анализа, малыми затратами времени на измерения, относительной простотой преобразований сигналов, изготовления сенсора и его эксплуатации.

Одним из основных направлений в области создания современных биосенсоров является разработка устройств для многоцветного ис-