

УДК 620.179

ОЦЕНКА ПРЕЦИЗИОННОСТИ ПРИБОРА НТ-800 ДЛЯ КОНТРОЛЯ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

Кутепов А.Ю., Крень А.П., Гнутенко Е.В.

Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время вследствие отсутствия государственных эталонов не существует общепринятой методики подтверждения метрологических характеристик приборов для определения уровня внутренних напряжений. При этом существует довольно большой парк приборов, основанных на ультразвуковых, магнитных, электрических измерениях, и позволяющих дать оценку напряжений на основании данных сравнительных испытаний, при которых напряжения создаются путем растяжения или сжатия образцов. В ИПФ НАН Беларуси был разработан прибор НТ-800, который позволяет проводить измерения толщины никелевых покрытий в диапазоне от 200 до 800 мкм, проводить оценку уровня действующих напряжений, а также строить карту распределения напряжений. Исходной величиной, по которой оценивается величина напряжений является магнитоотрывное усилие K_F , используемое при построении градуировочных зависимостей. В настоящей работе были проведены исследования по определению таких точностных показателей разработанных датчиков прибора, как повторяемость и воспроизводимость K_F согласно СТБ ИСО 5725.

Для проведения испытаний был использован НТ-800 с датчиком для контроля покрытий в труднодоступных местах и датчиком для контроля покрытий на плоских поверхностях (рисунок 1). Уровни испытаний (по СТБ ИСО 5725): специальные никелевые образцы, имитирующие покрытия, с различной толщиной и внутренними напряжениями представлены в таблице 1.



Рисунок 1 – ИИК НТ-800 с датчиками для контроля покрытий в труднодоступных местах и на плоских поверхностях

Указанная в таблице степень прокатки образцов позволила создать внутренние напряжения в никелевых образцах, которые по своим значениям перекрывают реальный диапазон изменения напряжений (0–200 МПа) в никелевых покрытиях, получаемых по гальванической технологии.

Нулевой уровень внутренних напряжений в никелевых образцах, имитирующих покрытия, создавался путем термообработки – отпуска образцов.

Таблица 1 – Характеристики никелевых образцов

Уровень испытаний (номер образца)	Толщина h , мкм	Степень прокатки, %	Уровень испытаний (номер образца)	Толщина h , мкм	Степень прокатки, %
1	200	0	7	400	10
2	215	14	8	400	40
3	240	0	9	500	0
4	300	0	10	500	30
5	330	34	11	580	13
6	400	0	12	700	0

Для оценки повторяемости каждым оператором на каждом уровне испытаний было проведено по 10 измерений. Для оценки воспроизводимости было задействовано 6 операторов.

На каждом уровне испытаний для каждого оператора были рассчитаны среднее арифметическое измерений величины K_F , пропорциональной магнитоотрывному усилию, и внутриэлементное стандартное отклонение. Затем были рассчитаны средние арифметические для каждого уровня.

Наличие выбросов с критическими значениями в 5 % для квазивыбросов и 1 % для выбросов определялось с использованием мер статистики Менделя (меры совместимости результатов между операторами) h для графического анализа данных на совместимость. Мера статистики h рассчитывалась по формуле

$$h_{ij} = \frac{\bar{y}_{ij} - \hat{m}_j}{\sqrt{\frac{1}{(p_j - 1)} \sum_{i=1}^{p_j} (\bar{y}_{ij} - \hat{m}_j)^2}}$$

где m – общее среднее по уровню; p – количество операторов.

Для того, чтобы определить, какие из рассчитанных значений h_{ij} являются выбросами, или квазивыбросами, на диаграмму наносились линии критических значений. Согласно СТБ ИСО 5725, при $p = 6$ это 1,87 и 1,66 для 1 % и 5 % соответственно. Если значение статистики h превышало линию, соответствующую 5 % уровню значимости, то соответствующий ей базовый элемент признавалось квазивыбросом, если значение статистики h превышало линию, соответствующую 1 % уровню значимости, то соответствующий ей базовый элемент признавался вы-

бросом. Диаграмма статистик Менделя h показана на рисунке 2.

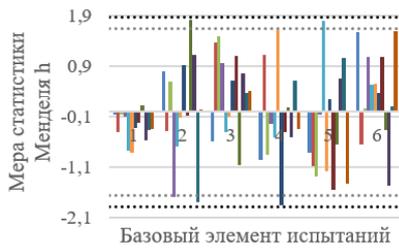


Рисунок 2 – Меры статистики Менделя h измерений при использовании датчиков с чувствительным элементом, представляющим собой магнит, предназначенный для контроля напряжений в никелевых покрытиях

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

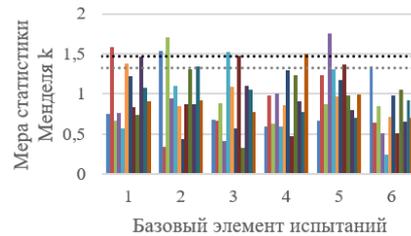


Рисунок 3 – Меры статистики Менделя k измерений при использовании датчиков с чувствительным элементом, представляющим собой магнит, предназначенный для контроля напряжений в никелевых покрытиях

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.

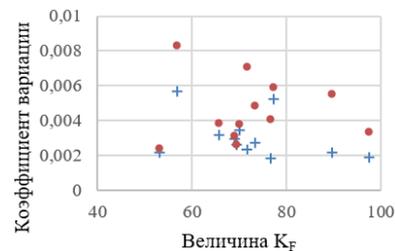


Рисунок 4 – Зависимость коэффициентов вариации повторяемости (+) и воспроизводимости (•) от величины K_F

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