

Все существующие методы валидации МВИ подразделяются на внутрिलाбораторные и межлабораторные (рисунок 2).

Согласно СТБ ИСО/МЭК 17025 лаборатория должна иметь процедуры контроля качества для осуществления текущего контроля (мониторинга) корректности выполняемых испытаний.



Рисунок 2 – Методы валидации методик выполнения измерений по СТБ ИСО/МЭК 17025

Результирующие данные должны регистрироваться таким образом, чтобы можно было обнаружить тенденции их изменения, и, где осуществимо, должны применяться статистические методы для анализа результатов.

УДК 620.3 (076.5)

## ОДНОВРЕМЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И УПРУГИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ АСМ

Кузнецова Т.А.<sup>1</sup>, Худолей А.Л.<sup>2</sup>, Чижик С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт тепло-и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Наиболее распространенными принципами действия сенсоров и актуаторов микроэлектромеханических систем являются прямой и обратный пьезоэффект [1]. Для того, чтобы разрабатывать материалы для таких систем с толщиной отдельных элементов единицы - десятки микрометров, необходимо иметь испытательное оборудование, позволяющее точно регистрировать с одной стороны, нанометровые перемещения и воздействия в диапазоне от микро- до наноньютонов, а с другой стороны, определять милливольты и пикоамперы с возможностью локального воздействия на поверхность до нескольких десятков микрометров и выбора точки воздействия. Одним из основных инструментов нанотехнологий явля-

Это означает, что контроль должен включать регулярное использование **внутреннего контроля качества**. Данные контроля качества должны быть проанализированы и там, где они выходят за определенные критерии, должны быть предприняты меры, чтобы исправить проблему и предотвратить выдачу неправильных результатов.

Контрольные карты являются одним из важнейших инструментов контроля качества измерений. Они применяются для контроля стабильности процесса измерений и выявления ситуаций выхода этого процесса из статистически контролируемого состояния.

Согласно рекомендации МИ 2335 элементами системы внутреннего контроля качества результатов количественного химического анализа являются:

- оперативный контроль процедуры анализа;
- контроль стабильности результатов анализа.

Оперативный контроль процедуры анализа проводит исполнитель анализа с целью проверки готовности лаборатории к проведению анализа рабочих проб или оперативной оценки качества результатов анализа каждой серии рабочих проб, полученных совместно с результатами контрольных измерений.

Контроль стабильности результатов анализа проводят с целью подтверждения лабораторией компетентности в обеспечении качества выдаваемых результатов анализа и оценки деятельности лаборатории в целом.

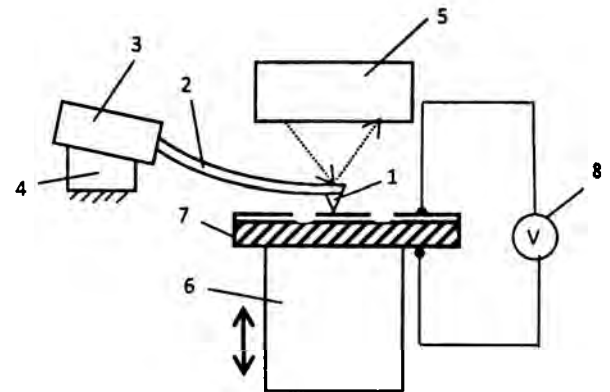
ется атомно-силовая микроскопия (АСМ). Использование зонда как основного микроманипулятора позволяет осуществлять локальное воздействие на поверхность, а выбор материала консоли, ее конструкции и габаритов позволяет варьировать приложенной нагрузкой в диапазоне  $10^{-3} - 10^{-9}$ . АСМ применяется как инструмент оценки упругих свойств тонких слоев за счет регистрации значений контактной силы и глубины вдавливания [2].

Модификация метода индентирования АСМ возможностью одновременной регистрации изменения электрических свойств материала позволит количественно оценивать прямой и обратный пьезоэффект в материале и таким образом расширит функциональные

возможности АСМ. В общем случае наноиндентирование это процесс контролируемого прецизионного механического воздействия жестким индентором на испытуемый материал с регистрацией параметров нагружения во времени. Наноиндентирование позволяет осуществлять очень малые локальные механические деформации материала и относится к неразрушающим методам контроля, что позволяет использовать данный метод для комплексного контроля свойств даже очень малого количества материала, а также при испытаниях готовой продукции, такой как микро- и наноэлектромеханические системы, а также био-микроэлектромеханические устройства. При механической деформации пьезоэлектрического материала, например, диэлектрика, наблюдается явление поляризации диэлектрика и возникновение электрического напряжения. Этот эффект часто используют в технике для преобразования механической энергии в электрическую энергию (датчики силы, микрофоны, взрыватели). Таким образом расширение функциональных возможностей определения свойств материала наноиндентированием может быть достигнуто за счет измерения электрических свойств, в том числе пьезоэлектрических материалов. Подключение измерителя напряжения к пьезоэлектрическому материалу позволяет сформировать дополнительный измерительный канал, обеспечивающий регистрацию изменения электрических свойств материала при его деформировании. Одновременная регистрация зависимости значений контактной силы  $P$  и электрического напряжения  $U$  от глубины вдавливания  $\alpha$  позволяет определить точное соответствие прилагаемой контактной силы и изменения напряжения для испытуемого материала. В этой связи предлагаемый способ позволяет регистрировать изменение электрического напряжения и контактной силы при вдавливании индентора в материал и определять механические, физико-механические и физические свойства испытуемого материала, в том числе и пьезоэлектриков, в соответствии с известными расчетными зависимостями.

В настоящей работе предложено перед установкой объекта на пьезосканере его поверхность разделяют, по меньшей мере, на две части, после сближения зонда с разделенной на части поверхностью объекта пропускают электрический ток, по меньшей мере, через одну часть поверхности, затем сканируют одновременно часть без пропуска электрического тока и часть с пропуском электрического тока. Устройство состоит из жесткого индентора 1, закрепленного на конце микроконсоли 2, микроконсоль 2 закреплена в держателе 3, который неподвижно

соединен с основанием 4 измерителя прогиба 5 микроконсоли 2. На механизме перемещения 6 расположен испытуемый материал 7, который подключен к измерителю напряжения 8 (рисунок 1). Измерение свойств выполняют следующим образом. Микроконсоль 2 с закрепленным на ее конце жестким индентором 1 устанавливают в держатель 3 и держатель 3 неподвижно закрепляют на основании 4 измерителя прогиба 5 (рисунок 1). Затем испытуемый материал 7, например, пьезоэлектрик, размещают на механизме перемещения 6 и подключают к измерителю напряжения 8.



1 - жесткий индентор; 2 - микроконсоль; 3 - держатель; 4 - основание; 5 - измеритель прогиба; 6 - механизм перемещения; 7 - испытуемый материал; 8 - измеритель напряжения

Рисунок 1 – Схема устройства

Механизмом перемещения 6 поднимают материал 7 до соприкосновения индентора 1 с испытуемым материалом 7. Далее осуществляют вдавливание индентора 1 с постоянной скоростью в испытуемый материал 7 и регистрируют диаграммы вдавливания индентора 1 в виде одновременной записи зависимости значений контактной силы и электрического напряжения от глубины вдавливания (рисунок 2). При этом вдавливание индентора 1 деформирует часть испытуемого материала 7 с постоянной скоростью, что приводит к возникновению электрического напряжения в материале 7, которое регистрируется измерителем напряжения 8 (рисунок 1). После вдавливания индентора 1 прекращают регистрацию диаграмм и отводят (опускают) испытуемый материал 7 механизмом перемещения 6 в исходное положение.

Разделение поверхности объекта на части обеспечивает возможность совместного одновременного сканирования частей, находящихся в различных условиях – одной части без пропуска электрического тока, а другой части с пропуском электрического тока. Причем операция разделения поверхности

объекта на части может быть выполнена, например, методом травления, царапанием, наклеиванием полосок на основание объекта перед нанесением покрытия. Пропускание электрического тока непосредственно через материал объекта, а не по схеме зонд-образец, позволяет разгрузить зонд, который является частью измерительного канала сканирующего зондового микроскопа от дополнительно электрического воздействия и продлить его срок эксплуатации. Кроме того, стандартные зонды, выполненные без токопроводящих покрытий, являются более острыми и дают лучшее



Рисунок 2 – Диаграмма зависимости значений электрического напряжения  $U$  и контактной силы  $P$  от глубины вдавливания  $\alpha$

разрешение поверхности объекта при сканировании на сканирующем зондовом микроскопе, что позволяет лучше регистрировать незначительные изменения материала поверхности объекта, связанные с пропусканием электрического тока. При этом наилучший результат обеспечивается при сканировании, когда направление сканирова-

ния преимущественно перпендикулярно линии раздела тонкой пленки поверхности объекта на части, так как за один проход зонда по линии сканирования регистрируется информация с различных частей тонкой пленки. Одновременное сканирование различных участков тонкой пленки позволяет обеспечить одинаковые условия проведения измерений для различных участков поверхности объекта за счет минимизации влияния процессов термодрейфа деталей и узлов сканирующего зондового микроскопа, гистерезиса пьезосканера и изменения остроты зонда в процессе сканирования поверхности объекта. Дополнительно это позволяет регистрировать и достоверно различать незначительные изменения структуры поверхности объекта, которые могут быть соизмеримы с уровнем шума, например, при использовании раздельного сканирования для различных частей поверхности объекта. Кроме того, направление сканирования, выполняемое перпендикулярно линии раздела тонкой пленки на части, обеспечивает регистрацию данных с прямоугольных площадей различных частей тонкой пленки, что значительно упрощает дальнейший сравнительный анализ, полученных при сканировании данных.

1. Maluf, N. An Introduction to microelectromechanical systems engineering / 2nd ed.– Norwood: Artech House, 2004. – 282 p.
2. Патент РБ № 15949. Способ определения модуля упругости. Чижик С. А., Дрозд Е. С. Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуальн. уласнасці. – 2012. - № 3 (92). С.160.

УДК 004.744.6:006

## КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ГОССТАНДАРТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Купреева Л.В., Токаренко И.М., Щербина А.К.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время во всем мире компании (бизнес, общественные организации, органы государственного управления и др.) уделяют все больше внимания собственному продвижению в социальных сетях. Для любой организации актуальными становятся вопросы привлечения новых клиентов и удержания старых. Проблема заключается в том, что современный потребитель не доверяет традиционной рекламе: он ищет о компании (его продукте) «живые» отзывы среди «своих» на форумах и в социальных сетях. По данным Всероссийского центра изучения общественного мнения за декабрь 2012 г. 73 % поку-

пателей доверяют рекомендациям пользователей социальных сетей и лишь 18 % – баннерной и контекстной рекламе. Корпоративное присутствие в социальных сетях превращаются в обязательную составляющую любой онлайн-стратегии.

В связи с этим современное развитие информационных ресурсов Госстандарта Республики Беларусь (далее – Госстандарт), в том числе и его структурного подразделения – Белорусского государственного института стандартизации и сертификации (далее – БелГИСС), с учетом мировых тенденций невозможно без решения следующих задач: