

РАЗМЕРНАЯ МЕТРОЛОГИЯ В МИКРО-ЭЛЕКТРОНИКЕ И НАНОТЕХНОЛОГИЯХ

24 июня в Москве под председательством директора ФТИАН акад. А.Орликовского проведена научная сессия Отделения нано- и информационных технологий РАН, посвященная проблемам размерной метрологии в микроэлектронике и нанотехнологиях.

Проблемам метрологии и стандартизации в рассматриваемых областях было посвящено выступление д.ф.-м.н., директора Государственного научного метрологического центра НИЦ ПВ, проф. МФТИ П.Тодуа. В выступлении, в частности, рассматривалась деятельность ИСО/ТК 229 по стандартизации в сфере нанотехнологий.

Проблема нанометрологии при измерении геометрических параметров прецизионных изделий нашла отражение в докладе МГТУ “Станкин”. Чл.-корр. РАН Ю.Соломенцев сформулировал одну из важнейших задач размерной нанометрологии применительно к отдельным деталям: измерение не только параметров шероховатости поверхности, но и отклонений – размеров и абсолютных значений, взаимного положения поверхностей и формы. Для решения этой задачи применяются интеллектуальная компьютерная микроскопия, гетеродинная и гомодинная интерферометрия.

Помнению д.т.н. В.Телешевского (МГТУ “Станкин”), проблема размерной нанометрологии применительно к узлам, сборкам и технологическому оборудованию (измерительные приборы и машины, робототехнические системы и обрабатывающие станки) заключается в сертификации и проверке по параметрам динамической и геометрической точности, измерении объемной точности и исходных геометрических параметров с погрешностью измерений в приборо- и машиностроении, нанофотонике и микроэлектронике 10^{-8} – 10^{-9} м.

Тест-объекты как эталонная мера для калибровки растровых электронных микроскопов (РЭМ) и атомно-силовых микроскопов (АСМ) были представлены в сообщении гл.науч. сотр. Института общей физики им. А.М.Прохорова РАН, д.ф.-м.н. Ю.Новикова. Фундаментом метрологического обеспечения нанотехнологий служит эталон единицы длины в диапазоне 1 мкм–1 нм, полученный с использованием растровой электронной и зондовой микроскопии, а также лазерной интерферометрии.

Докладчик отметил, если для тест-объекта НЈ-100 (Япония), аттестуемого дифракционным методом, номинальный размер параметра (НРАП) 240 нм, а для тест-объекта SRM-2090 (США), определяемого методом интерференции, НРАП – 200 нм, у российского тест-объекта МШПС-2.0К он оценивается в 2000 нм с высотой 100–1500 нм и шириной линии от 5 до 700 нм. Среди параметров можно отметить вертикальность электронного зонда, зависимость его диаметра от энергии электронов, эффективный диаметр зонда, глубину фокусировки, а также плотность распределения электронов в пучке, зависимость диаметра зонда от тока пучка, углы сходимости и расходимости последнего, минимальный диаметр зонда. На основании результатов испытаний Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (ФАТРМ) выдан сертификат серии RUC.27.010.A № 26441 об утверждении типа средств измерений для мер ширины и периода специальных МШПС-2.0К. Имеются ГОСТы на меру, поверку и калибровку РЭМ и АСМ. В настоящее время тест-объекты применяются в сертификационных центрах микроиндустриальной продукции, центрах коллек-

тивного пользования уникальным оборудованием, учреждениях РАН, при подготовке кадров для нанотехнологии и в организациях ФАТРМ.

Доклад, заместителя директора Института физики полупроводников (ИФП) им. А.В.Ржанова Сибирского Отделения (СО) РАН, чл.-корр. РАН А.Латышева касался тест-объектов для прецизионной калибровки в нанометровом диапазоне, нанометрологии линейных измерений, применения атомно-гладких зеркал, использования атомной ступени в качестве единицы длины. В Сибирском федеральном округе и СО РАН создается Центр метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции микроиндустрии. Центр коллективного пользования “Наноструктуры” предназначен для разработки и совершенствования экспериментальных методов литографии и диагностики систем пониженной размерности, определения химического и элементного состава поверхности твердых тел методами Оже, вторичной ионной масс-спектрографии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. В числе приоритетов деятельности Центра – изучение с помощью АСМ и РЭМ химического состава, морфологии и атомной структуры применяемых в электронике, химии, биологии и минералогии материалов; формирование методами зондовой, оптической, ионной и электронной литографии структур пониженной размерности для наномеханики и микроэлектроники; бесконтактный экспресс-контроль методами АСМ атомарных поверхностей. В ИФП СО РАН получены количественные характеристики атомных процессов на границах раздела и поверхности, созданы методики характеризации наноструктур, спро-



ектирована технология конструирования тест-объектов субнанометрового диапазона.

О нейтронно-синхротронном исследовании наноматериалов сообщалось в докладе чл.-корр. РАН В. Квардакова и директора РНЦ “Курчатовский институт” чл.-корр. РАН М.Ковальчука. В числе ближайших задач – совершенствование методов мультидисциплинарной диагностики веществ, высокотехнологичных изделий и материалов, а также реализация инновационных проектов, в т.ч. создание нового поколения материалов для ядерной и термоядерной энергетики, аэрокосмической отрасли и медицины.

Рост мощности источников синхротронного излучения обуславливает проектирование новой схемы инжекции и работы по созданию источника четвертого поколения MARCS.

Разработанные в РНЦ спектрально-селективные рентгеновские методы мониторинга эффективности и безопасности действия лекарственных препаратов основаны на изучении молекулярных механизмов и угловых зависимостей выхода флуоресценции белково-липидных пленок до и после применения комплексобразующего препарата.

Проведены эксперименты по развитию неразрушающей рентгеновской микротомографии нервной ткани животных с использованием источника синхротронного излучения для визуализации больших групп активных нейронов в различных структурах головного мозга. В частности, проведена серия экспериментов по созданию томограммы мозга мыши с декорированными тяжелыми элементами активными областями.

Сканирующей зондовой микроскопии в локальных исследованиях наноматериалов и наносистем было посвящено выступление проф. д.ф.-м.н. В.Панова (Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова). Сканирующая туннельная спектроскопия и микро-

скопия (СТС/СТМ) предназначены для измерения плотности состояний и рельефа поверхности в наносистемах с учетом релаксационных процессов и неравновесных эффектов при туннелировании в микроконтактах. В частности, СТС и СТМ применимы для диагностики поверхностных атомных структур [1–2], примесей на поверхности полупроводников и идентификации единичных атомов примеси в них [3]. Эффект неравновесного взаимодействия атомов на поверхности с изменением вблизи них электронной плотности при изменении напряжения на зонде СТМ может использоваться при создании новой элементной базы квантового компьютера [4]. При размерном квантовании на атомных кластерах наблюдаются осцилляции туннельной проводимости, регистрируемые СТС/СТМ над чистой поверхностью и трехатомным кластером [5–6].

В завершающем научную сессию докладе д.т.н. В. Быкова (Вице-президент Нанотехнологического общества России, генеральный директор ЗАО “НТ-МДТ”), рассмотрены перспективы развития российской приборно-инструментальной базы для технологической и метрологической nanoиндустриальных компонент [7]. Был представлен широкий спектр нанотехнологического оборудования и ряд перспективных разработок на платформах НаноФаб, Наноэдукатор, ИНТЕГРА и Солвер. Подчеркнуто, что инновационный VIP-проект “БИО” включает в себя комплексы “ИНТЕГРА-Лайф” и “Спектра”, а также приборы для СЗМ с нанокapиллярной системой сканирования, оптическим пинцетом и масс-спектрометром.

Суммируя вышесказанное, следует отметить:

- Тест-объекты обеспечивают прослеживаемость линейных измерений на АСМ и РЭМ от Первичного эталона метра в нанодиапазон. Разработанные для этих приборов калибровоч-

ные методы с тест-объектами применимы для измерения в диапазоне от 10 нм до 100 мкм с погрешностью от 1 до 100 нм.

- Сформированные на основе шаговых структур тест-объекты нанорельефа имеют характерные большие углы наклона боковых стенок и трапециевидные профили. Размеры элементов структур, в т.ч., ширина линии, аттестовываются в нанометровом диапазоне.
- Для обеспечения единства измерений методами СЗМ необходимы не только методологические комплексы обработки результатов и решения обратных задач с комплектом стандартных образцов для всех диапазонов измерений и каждого СЗМ, но и принципы проектирования и создания зондов с учетом существующих механизмов их взаимодействия с объектом измерений.
- Применение СЗМ в nanoиндустрии наряду с идентификацией параметров зонда и их динамическим мониторингом в процессе измерений и калибровки приборов предполагает формирование стандартных методик измерения.

Литература

1. Орешкин А.И., Маслова Н.С., Панов В.И. и др. – Письма в ЖЭТФ, том 78, № 9, 2003, с. 1068–1072.
2. Орешкин А.И., Маслова Н.С., Панов В.И. и др. – Письма в ЖЭТФ, том 84, № 6, 2006, с. 381–384.
3. Маслова Н.С., Панов В.И., Савинов С.В. – Успехи физических наук, том 43, № 5, 2000, с. 575.
4. Арсеев П.С., Маслова Н.С., Панов В.И., Савинов С.В. – Письма в ЖЭТФ, том 94, № 1, 2001, с. 191–199.
5. Алекперов С.Д., Васильев С.И., Панов В.И. и др. Доклады академии наук, т. 303, № 2, 1988, с. 341.
6. Маслова Н.С., Орешкин С.И., Панов В.И. и др. – Письма в ЖЭТФ, том 67, № 2, 1998, с. 130.
7. Баскин В.А., Быков В.А. Комплексный подход к развитию отечественной базы микро- и наносистемной техники. – Научно-технический журнал “Nanoиндустрия”, № 3, 2010, с. 4–6.

Л.Раткин