

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Болгарская Академия наук
ООО «ЛИТТ»

ИННОВАТИКА-2015

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

**XI Международной школы-конференции студентов,
аспирантов и молодых ученых
21–23 мая 2015 г.
г. Томск, Россия**

Под ред. проф. А.Н. Солдатова, доц. С.Л. Минькова

Scientific & Technical Translations



ИЗДАТЕЛЬСТВО

Томск – 2015

Литература

1. Кудрявцев А.В. Применение антигололедного покрытия на лесовозных автомобильных дорогах в условиях Урала Текст.: дис. канд. техн. наук./ Кудрявцев А.В., 2005. – 215с.
2. Зонов Ю.Б. Выбор методов борьбы с зимней скользкостью автомобильных дорог в целях повышения безопасности движения автомашин Текст. : ав-тореф. дис. . канд. техн. наук ./ Зонов Ю. Б. М., 1989. - 22 с.
3. Самодурова Т.В. Организация борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах по данным прогноза Текст. дис. . канд. техн. наук. / Самодурова Т. В. М., 1992.- 235 с.
4. Противогололедные реагенты и их влияние на природную среду Текст. / под ред. Л. Ф. Николаевой. М.: 1998. - 60 с.

НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМЕТРОЛОГИЯ В РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ДОСТИЖЕНИЯ

К.В. Лисоводская

*Национальный исследовательский Томский государственный университет
e-mail: missis.freedom@bk.ru*

NANOTECHNOLOGY AND NANOMETROLOGY IN RUSSIAN. PROBLEMS AND PROGRESS.

X.V. Lisovodskaya

National Research Tomsk State University

This article gives general conception of nanotechnology, a legislative position of nanotechnology, a brief overview of a governmental programs and their efficiency. Also this article emphasizes the conception of nanometrology, its necessity and problems. In the article are presented two types of the most effective microscope according to the survey of the world market's devices for microstudies. Summarizing, a possible step for improvement of a nanoindustry level is the introduction of disciplines about nanotechnology at universities of Russian Federation.

Key words: nanotechnology, nanometrology, metrology, microscope, Modulation Interference Microscope MIM, Scanning electron microscope, SEM.

Возникновение и развитие нанотехнологий в современном мире принято называть научно-технической революцией нашего времени. Согласно «Концепции развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года» (2004 г.), нанотехнология определяется как совокупность методов и приемов, обеспечивающих

возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм, хотя бы в одном измерении, и в результате этого получившие принципиально новые качества, позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба.

То есть многие физические и химические свойства (магнетизм, электропроводность, брутто- состав и т.д.) проявляются совершенно иначе, когда размеры исследуемых объектов достигают порядка 100 нм. Именно с размерными эффектами связаны уникальные свойства наночастиц и наноматериалов. В настоящее время при помощи различного вида микроскопов, сканирующих зондов и других средств исследования нанобъектов возможно манипулирование наночастицами, а следовательно, создание наноматериалов. Именно благодаря таким наноматериалам мы можем говорить о новом экономическом укладе, касающемся подавляющего большинства сторон жизни человечества, а именно: нанотехнологии широко изучаются и применяются в строительстве, медицине, электронике, химии, фармацевтике, оптике.

Любая страна, заинтересованная в успешном развитии всех социотехнических отраслей, успешном интергировании на мировой рынок, в высоком экономическом уровне развивает, в числе стратегических и приоритетных, нанотехнологии. В свою очередь, для продуктивного развития nanoиндустрии нужна серьезная правовая и нормативная база. В настоящее время ведется активная разработка проектов Государственных стандартов в области нано-технологий.

В РФ с 1 января 2016 года вступят в силу следующие Государственные стандарты:

– ГОСТ ISO/TS 27687–2014 «Нанотехнологии. Термины и определения нанообъектов. Наночастица, нановолокно и нанопластина», идентичный международному документу ISO/TS 27687:2008 «Нанотехнологии. Термины и определения нанообъектов. Наночастица, нановолокно и нанопластина»;

– ГОСТ ISO/TS 80004-1–2014 «Нанотехнологии. Часть 1. Основные термины и определения», идентичный международному документу ISO/TS 80004-1:2010 «Нанотехнологии. Словарь. Часть 1. Основные термины»;

– ГОСТ ISO/TS 80004-3–2014 «Нанотехнологии. Часть 3. Нанообъекты углеродные. Термины и определения», идентичный международному

документу ISO/TS 80004-3:2010 «Нанотехнологии. Словарь. Часть 3. Углеродные нанообъекты»;

– ГОСТ ISO/TS 80004-5-2014 «Нанотехнологии. Часть 5. Нано-/био-интерфейс. Термины и определения», идентичный международному документу ISO/TS 80004-5:2011 «Нанотехнологии. Словарь. Часть 5. Нано-/био-интерфейс»;

– ГОСТ ISO/TS 80004-7-2014 «Нанотехнологии. Часть 7. Нанотехнологии в медицине. Термины и определения», идентичный международному документу ISO/TS 80004-7:2011 «Нанотехнологии. Словарь. Часть 7. Диагностика и терапия в области здравоохранения».

В развитых странах, осознающих значимость нанотехнологий, разработаны специальные государственные программы, финансируемые как из бюджета, так и заинтересованными частными компаниями. Например, в Германии уже в 1998 г. Проект развития нанотехнологий получил статус национального и стратегического. В США в 2000 году была принята научно-техническая программа «Национальная нанотехническая инициатива». Вслед за США Япония так же приняла национальную научно-техническую программу «Нанотехнологии и будущее общество n-Plan21». Аналогичные программы приняты Китаем, Бразилией, Евросоюзом и другими странами.

За прошедшие годы в РФ был принят ряд системных решений и базовых документов по развитию nanoиндустрии. Президентская инициатива «Стратегия развития nanoиндустрии» (2007 г.), федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008–2011 годы» (2007 г. с изм. в 2010–2011 гг.), «Программа развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 года» (2008 г.), Постановление Правительства РФ «О национальной нанотехнологической сети» (2010 г.), указы Президента РФ «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» (2006, 2011 гг.), распоряжение Правительства РФ «Об утверждении Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2013–2020 гг.)» (2012 г.). Эти правовые акты определяют границы институциональной среды nanoиндустрии РФ.

В то же время исследователи указывают, что «в принятых документах недостаточно содержательно определены приоритеты, ориентиры, методы и инструменты реализации цели». Россия занимает 4-е место в мире по объему государственных расходов на нанотехнологии и 8–12-е места

по количеству научных публикаций в различных разделах нанонауки. При этом к наиболее общим экономическим проблемам, сдерживающим развитие nanoиндустрии РФ, относятся: на макроуровне – низкая производительность труда (~30% от уровня США) и инновационная активность (70-е позиции в рейтинге World Economic Forum), неэффективные механизмы коммерциализации (РФ обеспечивает 0,2% мирового производства нанопродукции при 16-м месте в мире по патентной активности в области нанотехнологий), неразвитая инфраструктура, слабый частный сектор (свыше 80% инвестиций в nanoиндустрию осуществляет государство); на микроуровне – снижение численности персонала в сфере НИОКР (на 18,2% в 2000–2012 гг.), ограниченный спрос на инновации со стороны бизнеса, низкий уровень информированности населения и наличие технофобий (данные на 2012 год).

Следующим аспектом успешного развития nanoиндустрии и нанотехнологий является развитие измерительных, контролирующих методов и средств исследования nanoобъектов. Ведь известно, где наука и техника, там и точные измерения. История развития науки и техники неразрывно связана с развитием системы, методов и средств измерений – метрологией и стандартизацией.

Метрология – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Специфика нанотехнологий привела к появлению нового направления в метрологии – нанометрологии, включающей все теоретические и практические аспекты метрологического обеспечения единства измерения в нанотехнологиях. Нанометрология – ключевое звено в инфраструктуре нанотехнологий.

Первоочередная задача нанометрологии – это создание эталонов: эталонов физических величин, эталонные образцы состава, структуры и свойств, а так же эталонные установки для передачи размера единиц физических величин в нанодиапазон.

Вторая задача, решаемая нанометрологией – это стандартизованные измерения физико-химических параметров и свойств объектов нанотехнологий, методы калибровки и поверки самих средств измерений.

Третья задача – это метрологическое сопровождение технологических процессов материалов, объектов и иной продукции nanoиндустрии.

Стандартизация необходима в виду межотраслевого, междисциплинарного характера нанотехнологий и продукции nanoиндустрии, для

стандартизации параметров и свойств материалов, обеспечения единства терминологии, исследовательских и измерительных методах.

Сертификация необходима для подтверждения соответствия свойств и параметров объектов, материалов, технологических процессов, а так же непосредственно измерительной техники и инструментов требованиям технических стандартов, регламентам и иным нормативным документам.

Так как одной из первоочередных задач нанометрологии является измерение геометрических параметров объекта, находящегося в диапазоне длин от 1 до 100 нм, это обуславливает необходимость обеспечения единства линейных размеров в нанометровом диапазоне. Измерение линейных размеров является базисом в подавляющем большинстве методов и средств измерений физико-химических параметров и свойств объектов нанотехнологий, такие как магнитные, оптические, электрические, фармацевтические и прочие.

Обеспечение точности и единства физико-химических параметров и свойств объекта измерения требует привязки соответствующего средства измерения к эталону, воспроизводящему единицу данной измеряемой физической или химической величины, кроме этого необходим базисный эталон единицы длины, который обеспечат «точное попадание в цель» любого измерения. В этом заключается специфический дуализм эталонов в нанометрологии.

Еще одной уникальностью измерений в нанодиапазоне является специфичность свойств измеряемого объекта, так как при достижении размеров порядка нескольких нанометров физико-химические параметры проявляются качественно иначе, что обуславливает изменение взаимодействия измеряемого средства с измеряемым объектом.

В Российской Федерации на базовом уровне решена задача создания основ метрологического обеспечения измерений длины в диапазоне 1–1000 нм. Разработаны методология обеспечения единства измерений в этом диапазоне длин, эталонный комплекс средств измерений, обеспечивающий воспроизведение и передачу размера единицы длины вещественным мерам длины в указанном диапазоне с погрешностью 0,5 нм; поколение мер малой длины для калибровки средств измерений в исследуемом диапазоне, в том числе меры нанорельефа поверхности; методология и алгоритмы измерения параметров профиля элементов микро- и наноструктур и пакет компьютерных программ для автоматизации измерений.

На данном этапе важнейшим является вопрос создания вещественных носителей размера - мер с программируемым нанорельефом поверхность, которые бы смогли обеспечивать калибровку средств измерений с наивысшей точностью. Это существенно повысило бы уровень nanoиндустрии в РФ, так как позволило бы совершенствовать и модифицировать микроскопы и переводить их из разряда визуализирующих в разряд измеряющих линейные размеры объектов исследования, обеспечивающих привязку измеряемых величин в нанометровой области к первичному эталону единицы длины – метр.

В настоящее время существует два подхода к изучению, измерению и контролю в нанотехнологиях: «сверху- вниз» и «снизу- вверх».

Технология «снизу-вверх» основана на объединении атомов, молекул и их совокупностей (агломератов, агрегатов) до получения наночастиц. Данная технология относится к перспективным и активно разрабатывается, но все еще плохо изучена.

Технология «сверху –вниз» основана на последовательном уменьшении, дроблении, разрушении массивного материала до уровня наночастиц. Она является на данный момент основной, хоть и ограничена неполной изученностью самой природы этих методов.

Технология «сверху- вниз» представлена широким спектром средств и методов исследования нанообъектов: атомно-силовые микроскопы, магнитно-силовой микроскоп, зондовые микроскопы, сканирующие туннельные микроскопы , спектроскопия ядерного магнитного резонанса, масс-спектрометрия, различные электронные микроскопы. Современный уровень развития нанотехнологий предъявляет следующие требования к исследовательским микроскопам:

- разрешение в диапазоне 1–10 нм;
- высокое быстродействие (не менее 1 кадра /с) ;
- доступная цена;
- возможность исследования широкого круга объектов;
- функциональность и возможность комплексного анализа физических свойств изучаемого нанообъекта;
- отсутствие разрушающего воздействия на объект.

Большая доля рынка микроскопов в nanoиндустрии приходится на электронные. Это связано с их большой разрешающей способностью. Существенным недостатком является отсутствие возможности контроля качества нанопродукции, физических и химических показателей непо-

средственно в процессе исследования, а так же очень высокая стоимость и эксплуатационные затраты.

На рис 1. показана принципиальная схема работы РЭМ. Электронная пушка состоит из катода 1, цилиндра Венельта 2 и анода 3. Пучок электронов от пушки проходит через три электромагнитные линзы 5, 6, 9.

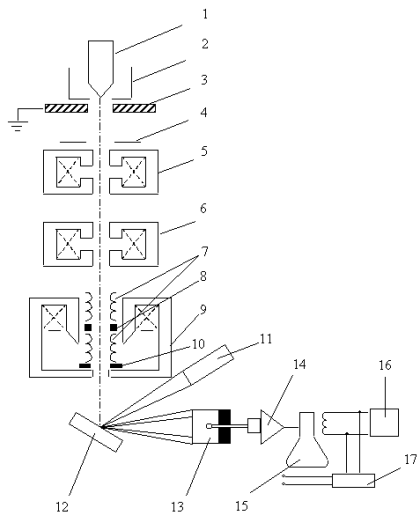


Рис. 1. Принципиальная схема растрового электронного микроскопа.

Фокусировка потока электронов осуществляется магнитным полем, имеющим осевую симметрию. Оно создается электромагнитной линзой, которая представляет собой соленоид. Магнитное поле возникает при пропускании электрического тока через обмотку соленоида 7, концентрируется с помощью так называемого полюсного наконечника 8 и воздействует на проходящий через него поток электронов. Фокусное расстояние линзы можно плавно регулировать путем изменения силы тока в обмотке соленоида. В системе имеются две диафрагмы 4, 10, ограничивающие расходимость пучка электронов.

Оптимальные показатели быстродействия и разрешающие способности демонстрируют оптические микроскопы, рабочим телом которых является длина волны видимого света. Существенным недостатком является низкая разрешающая способность в плоскости ХУ.

В следствии этого, существует острая необходимость в разработке новых методов оптической микроскопии в создании новых оптических из-

мерительных приборов, сочетающих высокое быстродействие с очень высоким разрешением.

Альтернативный выход из этого положения, на мой взгляд, дает так называемый метод модуляционной интерференционной микроскопии, разработанный компанией ООО «Лаборатории АМФОРА». На его основе созданы целое семейство лазерных микроскопов МИМ. Лазерные модуляционные интерференционные микроскопы семейства МИМ-300 предназначены для измерений геометрических параметров трехмерного микрорельефа поверхности объектов. При этом достигнуто разрешение по поверхности до 15 нм, а по вертикали – 0,1 нм. Чувствительность интерференционных измерений к физическим и механическим характеристикам позволяет получать с помощью микроскопов МИМ-300 еще и количественные данные материаловедческого характера: геометрическую высоту, показатель преломления, поляризационные свойства, фазовый и материальный состав, механические напряжения на поверхности, причем на основе информации, полученной в единой измерительной процедуре. Принципиальная схема лазерного микроскопа МИМ показана на рис 2.

Недостатком данных лазерных микроскопов является предел измерения по высоте в $\lambda/2$, в этом случае имеет место скачок фазы на π , что сказывается на изображении в виде разрывов и смещений профиля по вертикали. Быстродействие МИМ ограничено быстродействием фотоприемной системы, линейностью отклика пьезокерамики в опорном плече интерферометра и пропускной способностью USB 2.0 интерфейса.

По итогам маркетинговых исследований при доработке недостатков и активном продвижении на международном рынке есть возможность претендовать на более чем 30% мирового рынка приборов для микроисследования, который оценивается на 5,8 млрд долларов. Проект МИМа стал победителем в одной из номинаций (премия Британского совета) Конкурса русских инноваций в 2002 году.

При полноценной комплектации лазерных микроскопов МИМ мерами, обеспечивающими калибровку и контроль их параметров, возможно создание прибора, в большей степени удовлетворяющего всем требованиям, предъявляемым к исследованию и измерению нанообъектов.

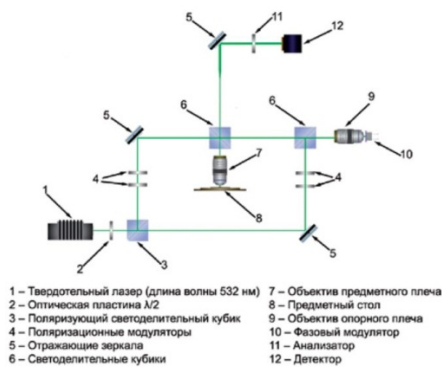


Рис. 2. Принципиальная схема канала лазерного микроскопа МИМ (профилометра)

Всё то приводит нас к решению комплексной задачи развития правовой базы, нормативных документов и регламентов в области нанотехнологий, а так же непосредственно опережающее развитие нанометрологии, создание вещественных эталонов длины для нанодиапазона, методов и средств исследований объектов нанотехнологий, отвечающих требованиям современного развития науки и техники, создание новых алгоритмов измерений и соответствующее им математическое обеспечение, учитывающее влияние взаимодействия средства измерений с измеряемым объектом, создание стандартных образцов состава, структуры и рельефа поверхности и стандартизованных методик измерений, обеспечивающих прослеживаемость передачи размера единицы физической величины от эталона рабочим средствам измерений для их аттестации, калибровки и поверки в нанометровый диапазон без существенной потери точности. Для решения этой задачи нужны высококвалифицированные специалисты в области метрологии, информационного обеспечения, лазерных технологий, обладающие инновационным мышлением.

При сложившейся ситуации достаточно высокого финансирования и очень низкой отдачи необходимо повышение уровня компетентности в области нанотехнологий и нанометрологии студентов технических специальностей ТГУ, ТПУ, ТУСУРа, в частности, студентов ФИТ.

Информация о нанотехнологиях, методах контроля нанотехнологий и метрологических особенностях должна быть включена в следующие курсы для студентов ФИТ: «Методы и средства измерений, испытаний и

контроля», «Метрология, стандартизация и сертификация», «Промышленные технологии и инновации».

Перспективным является создание соответствующего комплекса лабораторных работ.

Научный руководитель работы, доцент кафедры УК ФИТ ТГУ, к.ф.-м.н Попов Лев Николаевич.

Литература

1. Под редакцией М.В.Ковальчука, П.А.Тодуа . Мир материалов и технологий. Нанотехнологии, метрология, стандартизация и сертификация в терминах и определениях. Техносфера , 2009. 135 с.

2. Брюховец А.А. и др.; под общ. Ред. С.А.Зайцева. Метрология: учебник.. ФОРУМ, 2009. 464 с

3. Рыжкин В.В. Институциональное развитие nanoиндустрии в РФ (18.10.2014)// Официальный сайт: DiBase.ru URL: http://dibase.ru/article/18102014_176869_gyzhkin/1 (дата обращения 03.03.2015)

4. Тодуа П.А. Нанотехнологии. Нанометрология и стандартизация// Официальный сайт NanoNewsNet URL: <http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/ptodua-nanotekhnologii-nanometrologiya-standartizatsiya>

5.ТАСС: Информационное агентство России// Официальный сайт Tass.ru URL: <http://tass.ru/shvabe/1806294>

6. Коршак А., Игнатьев П., Лопарев А., Индукаев К., Осипов П. Лазерные микроскопы МИМ для нанотехнологий. Наноиндустрия. Научно-технический журнал. Выпуск № 5. 2010. 4 с.

7. Атаходжаев И., Игнатьев П., Индукаев К., Осипов П.. Лазерная интерференционная микроскопия для нанотехнологий. Фотоника. Научно-технический журнал. Выпуск № 2. 2010. 4 с.