

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В СФЕРЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

В.Н. Крутиков, Ю.М. Золотаревский

ФГУП «ВНИИОФИ», г. Москва

Целенаправленное и активное формирование системы обеспечения единства измерений и оценки соответствия продукции наноиндустрии было начато в рамках реализации **методической составляющей ФЦП «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в РФ на 2008 – 2011 годы»** (далее ФЦП РИН), которая включала в себя комплекс проектов, направленных на обеспечение единства измерений, развитие стандартизации, создание системы оценки безопасности наноматериалов и продукции наноиндустрии, создание системы оценки соответствия продукции наноиндустрии, создание инфраструктуры Центра метрологического обеспечения и оценки соответствия продукции наноиндустрии.

В соответствии с этими направлениями за период 2008 – 2011 гг. было выполнено 130 проектов, в том числе 85 проектов, направленных на развитие метрологической инфраструктуры, а также на создание метрологических комплексов и нормативно-методической базы для обеспечения единства измерений в наноиндустрии:

- **геометрических параметров** нанообъектов и продукции наноиндустрии (*включая 3d параметры рельефа и шероховатости поверхности, параметры углеродных наноматериалов, нанопорошков, нанотомографию параметров и топологии наноструктур, скрытых под поверхностью, позиционирование объектов в наноинженерии и наноэлектронике*);

- **химического состава и структуры** конструкционных, функциональных, композиционных наноматериалов, а также наноматериалов для атомной энергетики, авиакосмической промышленности и др.;

- иных **характеристик и свойств** наноматериалов и продукции наноиндустрии (включая их механические, магнитные, электрические, оптические, термохимические и другие свойства).

Всего было создано и введено в эксплуатацию 45 высокоточных метрологических комплексов, разработано и аттестовано 180 методик измерений, разработаны, прошли испытания и утверждены 170 типов стандартных образцов состава и свойств наноматериалов. Проведенные международные сличения подтвердили высокий уровень выполненных метрологических разработок. Таким образом, реализация ФЦП существенно продвинула становление отечественной системы метрологического обеспечения нанотехнологий.

В рамках реализации ФЦП РИН был создан ряд метрологических комплексов, базирующихся на оптико-физических принципах. В частности, такие метрологические комплексы, комплекты методик измерений и стандартных образцов были созданы для обеспечения единства измерений параметров и характеристик:

- солнечных элементов на наногетероструктурах;
- оптических постоянных наноструктурированных сред и метаматериалов в нанофотонике, а также наноструктур для фотоприемников и оптических фильтров;
- наноразмерных энергосберегающих покрытий на стеклах, устройств на основе тонкопленочных фильтров и многослойных наноструктур для электроники;
- наночастиц, используемых для адресной доставки лекарств, диагностики, фотодинамической и спектральной терапии;
- наноструктурных фотонно-кристаллических световодов для перспективных высокоскоростных информационно-телекоммуникационных систем и целый ряд других комплексов.

Начиная с 2012 года, после прекращения централизованного финансирования методической составляющей инфраструктуры наноиндустрии, развитие системы ОЕИ проводилось в основном за счет ограниченного финансирования Росстандартом работ по совершенствованию эталонной базы в сфере наноиндустрии, а также за счет привлечения средств других заказчиков.

Это позволило завершить работы по созданию и вводу в эксплуатацию нового Государственного первичного эталона единицы комплексного показателя преломления, призванного метрологически обеспечить бесконтактные измерения параметров рельефа, толщины и оптических характеристик тонких пленок, а также многослойных наноструктурированных покрытий.

Сдан и введен в эксплуатацию усовершенствованный Государственный первичный эталон единиц силы света и светового потока непрерывного излучения в области измерений фотометрических и колориметрических характеристик светодиодных излучателей («Свет»), который позволяет обеспечить единство измерений силы света, яркости, светового потока и координат цветности светодиодов, изготовленных на основе полупроводниковых многослойных наноразмерных гетероструктур.

Сданы в эксплуатацию усовершенствованные Государственные первичные эталоны единицы спектральной плотности энергетической яркости в диапазоне длин волн 0,04-0,25 мкм и единиц потока излучения и энергетической освещенности, которые позволяют метрологически обеспечить УФ - фотолитографию в электронной промышленности и диагностику характеристик и свойств нанообъектов, основанной на УФ-возбуждении фотолюминесценции.

Также создан государственный первичный эталон единиц эллипсометрических углов, обеспечивающий оптические измерения физических характеристик тонкопленочных структур микро- и нанометрового диапазонов (оптических постоянных, состава,

кристаллического совершенства, механических напряжений и толщин слоев); межфазных границ раздела, процессов адсорбции-десорбции на поверхности твердых и жидких тел; имплантированных слоев полупроводников (процессов дефектообразования, кристаллизации и формирования полупроводниковых наноструктур); поверхности при плазмохимическом воздействии, а также при диагностике атомарно чистой поверхности полупроводников и картировании оптических свойств исследуемых образцов.

Решение многих задач в области нанотехнологий требует регистрации малоинтенсивных потоков оптического излучения вплоть до отдельных квантов. В настоящее время ФГУП «ВНИИОФИ» выполняет ряд поисковых научно-исследовательских работ, направленных на метрологическое обеспечение измерений малоинтенсивных потоков оптического излучения вплоть до отдельных квантов. В частности, исследуется возможность создания эталонных источников низкоуровневого оптического излучения на основе наноразмерных диафрагм и единичных квантовых точек.

При помощи ионной и электронной литографии, травления и осаждения материалов фокусированным ионным пучком, ближнепольной оптической микроскопии.

В рамках другой работы в области низкоуровневого излучения разрабатывалась система, которая могла бы, суммируя энергию каждого зарегистрированного фотоэлектрона измерять общую энергию входящего излучения и ее распределение в пространстве. В результате выполнения этой работы может быть обеспечена возможность повышения точности измерений, необходимая для решения задач оптической локации в системе ГЛОНАСС, оптической диагностики на установках для термоядерного синтеза, исследования параметров взрывных процессов, а также медико-биологических задач.

Еще одной работой в области низкоуровневого излучения ставились задачи разработки методов и аппаратуры для воспроизведения и калибровки средств измерений оптического Ватта на основе преобразования фотон-электрон. В результате выполнения работы был найден высокоточный и недорогой по исполнению метод калибровки средств измерений фотоэлектрического типа, в том числе счетчиков фотонов без использования дорогостоящего криогенного радиометра.