

# КАКИМИ БУДУТ СТАНДАРТЫ ДЛЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ?

С.Хохлявин  
a102L@email.ru

В последние годы приставка "нано" стала показателем инновационности технологий, хотя она характеризует лишь масштабы измерений. Нанотехнологии для электроники – это массовое производство приборов и интегральных схем с минимальными размерами элементов в диапазоне от 100 до 1 нм, что позволяет изготавливать современные высокоэффективные устройства при значительной экономии средств.

Синтез углеродных нанотрубок (УНТ) эксперты сегодня сравнивают с "силиконовыми технологиями" начала 50-х годов XX века [1]. Неудивительно, что вопросы стандартизации в рассматриваемой области привлекают внимание специалистов по всему миру. Правда, в России роль УНТ в продвижении нанотехнологий в электронику явно недооценивается [2]. Между тем, к активной разработке стандартов в области нанoeлектроники приступила Международная электротехническая комиссия (МЭК). Первой публикацией в

этой области стал стандарт МЭК 62624:2009 "Методы измерений электрических характеристик УНТ" (рис.1), принятый по ускоренной процедуре (fast track), поскольку он идентичен одноименному стандарту IEEE Std 1650–2005, изданному шесть лет назад Международным институтом инженеров электротехники и электроники (IEEE) и практически сразу же получившему статус американского национального стандарта (ANSI/IEEE).

В стандарте указывается: при измерениях характеристик могут допускаться существенные

ошибки вследствие природы УНТ, поэтому в нем описываются наиболее общие источники таких ошибок и рекомендуемые методы минимизации эффекта, создаваемого каждой ошибкой. Разработка стандарта была обусловлена отсутствием определенных методов испытаний в данной области, что серьезным образом препятствовало распространению нанотехнологий.

Структура стандарта представлена в табл.1. Пользователям предлагаются процедуры характеристики УНТ и формат отчетных данных, которые могут использоваться при исследованиях и в производстве. Кроме того, рекомендуются необходимые процедуры валидации методов.

Несмотря на краткость (объем 14 с.), за шесть лет, прошедших после публикации, стандарт доказал свою востребованность. Он имеет статус национального в таких европейских странах как ФРГ, Нидерланды, Норвегия. Ожидается, что в России в ближайшее время он получит статус ГОСТ Р<sup>1</sup>. С учетом накопленно-



Рис.1. Международный стандарт и спецификация

<sup>1</sup> Уведомление о разработке проекта размещено на web-сайте Росстандарта 01.10.2010 (разработчик – Всероссийский научно-исследовательский институт машиностроения "ВНИИМАШ").



Таблица 1. Структура стандарта МЭК 62624:2009 (IEEE Std 1650–2005)

Краткий обзор	Область применения	
	Цель	
	Краткий обзор электрической характеристики	Испытание аппаратуры Системы зондирования Методы измерений Повторяемость и данные о размере образца Воспроизводимость измерений Применение методов с малыми помехами
Дефиниции, сокращения и аббревиатуры	Дефиниции	
	Сокращения и аббревиатуры	
Характеристики УНТ	Одностенная УНТ	Метод обработки и изготовления Структура Другие характеристики
	Мультистенная нанотрубка	Метод обработки и изготовления Структура Другие характеристики
Электроды	Материалы	
	Метод изготовления	
	Размеры	
Характеризация устройства	Разработка конструкции	
	Метод обработки и изготовления	
	Процедуры стандартной характеристики	Указания для процесса характеристики Отчетные данные
	Контроль состояния окружающей среды и стандарты	

го опыта практического применения в МЭК уже поднят вопрос о его пересмотре и актуализации.

В целях активизации разработки стандартов в обсуждаемой области в 2007 году был образован профильный Технический комитет (ТК) МЭК/ТК113, секретариат которого ведет Германия. Он включает 87 экспертов из 12 стран, в том числе из России, и поддерживает тесные связи с ТК ИСО/ТК229, причем их первая и вторая рабочие группы (РГ) являются совместными (JWG1 и JWG2). В табл.2 представлены текущие разработки третьей РГ МЭК/ТК113 "Характеристики наноматериалов для электротех-

нических компонентов и систем" (IEC/TC113/WG3).

Большая часть стандартов находится пока в стадии разработки и лишь два представлены на первичное обсуждение. В марте этого года был опубликован 15-страничный новейший стандарт для УНТ – IEC/PAS 62565-2-1:2011. Этот документ имеет необычный для России статус "публично доступной спецификации" (PAS), т.е. своеобразный предстандарт pre-standard<sup>2</sup>, изданный как реакция на срочную потребность, но имеющий весьма низкий уровень консенсуса, достигнутого лишь среди экспертов РГ. На стадии

финального голосования проект в его нынешнем виде был поддержан экспертами лишь из девяти стран: США, России, Японии, Южной Кореи, Китая, ФРГ, Канады, ЮАР, Италии. На пленарном заседании МЭК/ТК113 в Сиэтле (США) в октябре прошлого года было решено, что работы для достижения более широкого консенсуса будут продолжены. Конечная цель – издание полноценного стандарта к январю 2013 года. Лидером проекта выступил профессор В.Берггольц из Университета Якобса (Бремен, ФРГ).

Как видно из названия и структуры документа (табл.3),

<sup>2</sup> Предстандарт – документ ограниченного консенсуса, принятый национальным органом по стандартизации на срок не более пяти лет с целью накопления необходимого опыта для разработки национального стандарта (ст. 2 проекта Федерального закона "О стандартизации").

Таблица 2. Стандарты МЭК по характеристике наноматериалов

Обозначение	Наименование
IEC/PWI TR 62565-1	Изготовление – Спецификации материалов. Часть 1: Базовая концепция
IEC/PAS 62565-2-1:2011 (IEC/CD3 62565-2-1)	Изготовление – Спецификации материалов. Часть 2-1: Одностенные УНТ – Бланк детальной спецификации
IEC/CD TS 62607-2-1	Изготовление – Ключевые характеристики контроля. Часть 2-1: Материалы с УНТ – Сопротивление
IEC/NP TS 62607-3-1	Изготовление – Ключевые характеристики контроля люминесцентных наноматериалов. Часть 3-1: Квантовая эффективность
IEC/CD TS 62622	Нанотехнологии – Описание, измерения и размерность качественных параметров искусственных дифракционных решеток

он представляет собой попытку унифицировать на международном уровне формат технического описания, предназначенного для промышленного применения в электронной продукции одностенных УНТ, с целью включения их характеристик в двустороннюю спецификацию, подготавливаемую продавцом и пользователем.

Разработчики документа признают, что существует ряд модификаций УНТ, причем различия в физической структуре приводят к заметным отличиям

в их электрических, оптических и химических свойствах. Чтобы облегчить получение УНТ со сформированными на заказ свойствами (длина, диаметр, чистота, хиральность, тип проводимости), крайне важно для доказательства соответствия определить их стандартизованным способом, указав допустимые пределы и предусмотрев методы характеризации. По этой причине значение настоящего документа представляется крайне важным. В ближайшее время настоящая спецификация

в России как и за рубежом оперативно получит национальный статус (ГОСТ РМЭК 62565-2-1)<sup>3</sup>.

**Словари по наноэлектронике и нанопотонике**

Продолжается активная разработка международных словарей ИСО/МЭК серии 80004 [3]. К состоявшемуся в октябре прошлого года пленарному заседанию МЭК/ТК113 был представлен первый проект словаря IEC/TS 80004-9 "Нанотехнологии – Словарь. Часть 9: Электротехнические продукты и системы". Его разработку было предложено возглавить профессору А.Тамбурано (Университет Рима, Италия).

Пока проект словаря насчитывает всего 46 терминов, причем лишь часть из них имеет сформулированные дефиниции. Так, разработчики предлагают включить в него следующие ключевые термины:

- "наноэлектроника" (nano-electronics),
- "молекулярная электроника" (molecular electronics);
- "наномасштабный электрический контакт" (nanoscale electric contact);
- "нано-электромеханические системы" (nano-electromechanic systems, NEMS);
- "спинтроника" (spintronics);

Таблица 3. Структура IEC/PAS 62565-2-1:2011

Область применения	
Нормативные ссылки	
Термины и определения	
Базовая информация	
Общее введение по методам измерений	
Базовые требования спецификации	
Рекомендуемый формат спецификации для одностенной УНТ	Общая информация
	Характеризация одностенных УНТ
Краткий обзор методов испытаний	

<sup>3</sup> Уведомление о разработке проекта размещено на web-сайте Росстандарта 27.10.2010 (разработчик – "ВНИИМАШ").

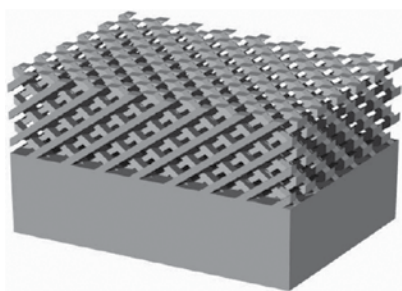


Рис.2. Фотонный кристалл

- "туннельное магнитосопротивление" (tunnel magnetoresistance, TMR);
- "одноэлектронный транзистор" (single-electron transistor);
- "гигантский магнитоустойчивый эффект" (giant magnetoresistive (GMR) effect);
- "квантовое переплетение" (quantum entanglement);
- "время декогеренции" (decoherence time).

К пленарному заседанию также был представлен первый рабочий проект словаря IEC/TS 80004-10 "Нанотехнологии – Словарь. Часть 10: Фотонные компоненты и системы". Пока в него включено 26 терминов (лишь 14 имеют предложенные дефиниции), среди них:

- "нанофотоника" (nano-photonics);
- "фотонные метаматериалы" (photonic metamaterials);
- "фотонный кристалл" (photonic crystal) (рис.2);
- "рассеяние света" (light scattering);
- "участок рассеяния" (scattering site);
- "релеевское рассеяние" (Rayleigh scattering);
- "люминесцентная наночастица" (luminescent nanoparticle).

Таблица 4. Проекты будущих стандартов IEEE для нанoeлектроники

Обозначение	Название
IEEE Std 1670	Методы химического осаждения пара для нанотехнологий
IEEE Std 1690	Стандартные методы для характеристики УНТ, используемых в качестве добавок к объемным материалам

Обращает на себя внимание включение в проекты обоих словарей нового термина "нановозможный продукт" (nanoenabled product), сформулированного как "продукт со свойствами и функциями, которые могут быть достигнуты лишь с помощью нанотехнологий". Разработчики предлагают включить в оба словаря также родственные дефиниции:

- "нановозможный компонент" (nanoenabled component);
- "нановозможные характеристики" (nanoenabled characteristics);
- "нановозможная система" (nanoenabled system).

Оба словаря разрабатываются на международном уровне, и подготовка их к публикации первой совместной РГ ТК ИСО/TK229 и ТК МЭК/TK113 (JWG1) ожидается не ранее 2012–2013 годов. Фундаментом для них стали изданные ранее международные словари ИСО/МЭК серии 80004. К сожалению, ни один из них не имеет статуса ГОСТ Р ИСО. Тем не менее, выпущенный недавно российский словарь по нанотехнологиям [4] включает ряд терминов для нанoeлектроники и нанofотоники, часть из которых имеет схожие с международными формулировки.

В заключение следует отметить, что вслед за стандартом IEEE Std 1650–2005 IEEE разрабатывает два новых стандарта (табл.4). Группу по разработке первого из них возглавляет Х.Мехам (Университет штата Юта, США), а второго – д-р К.Кальянасандара (компания Motorola). Не исключено, что после публикации оба стандарта могут быть одобрены

по ускоренной процедуре как стандарты МЭК, что должно способствовать их более широкому признанию и распространению.

Основная цель международной стандартизации в рассматриваемой области – перенести инновации в нанoeлектронике из научно-исследовательских лабораторий на информационный, телекоммуникационный и оптоэлектронный рынки [5], предложив согласованные подходы и решения, которые могут реально продвинуть развитие нанoиндустрии. По словам директора по технологической стратегии корпорации Intel, председателя международного проекта "Дорожная карта технологий для полупроводников" П.Гардини, стандарты в эру нанотехнологий будут играть едва ли не главнейшую роль при появлении новых материалов и применении методов изготовления полупроводников [6].

*Автор выражает искреннюю признательность секретарю первой совместной РГ (JWG1) Б.Хайдону (Brian Haydon) за любезно предоставленные материалы и оказанную неоценимую помощь в написании статьи.*

### Литература

1. Разработка Стратегического плана стандартизации в области нанoeлектроники. – Мир стандартов, 2009, № 8(39), с.74–76.
2. Перспективы развития нанoeлектроники в России (интервью с И.Кучерявым). – Наноиндустрия, 2010, № 4, с.6–8.
3. Хохлявин С. К единой терминологической базе нанотехнологий. – Наноиндустрия, 2010, № 5, с.90–97.
4. Нанотехнологии, метрология, стандартизация и сертификация в терминах и определениях./ Под ред. М.В. Ковальчука, П.А. Тодуа. – Техносфера, 2009.
5. Татарников О. На краю пропасти. – КомпьютерПресс, 2007, № 8.
6. Paolo A.Gargini. Sustaining Moore's Law – Microelectronics, nanoelectronics and beyond. – ISO Focus, April 2007, p.28–30.