ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 56551— 2015 IEC/PAS 62565-2-1: 2011

Производство нанотехнологическое

ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

Часть 2-1

Материалы из одностенных углеродных нанотрубок. Формы спецификаций

(IEC/PAS 62565-2-1:2011, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации в машиностроении» (ВНИИНМАШ) на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного документа, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 441 «Нанотехнологии»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 августа 2015 г. № 1190-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному документу IEC/PAS 62565-2-1:2011 «Нанопроизводство. Технические характеристики материалов. Часть 2-1. Одностенные углеродные нанотрубки. Бланк технических характеристик» (IEC/PAS 62565-2-1:2011 «Nanomanufacturing — Material specifications — Part 2-1. Single-wall carbon nanotubes — Blank detail specification»).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного документа для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru)

© Стандартинформ, 2016

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины, определения, обозначения и сокращения . . . 2
4 Основные характеристики одностенных углеродных нанотрубок . . . 3
5 Общие требования к сведениям о методах определения характеристик материалов из одностенных углеродных нанотрубок, включаемым в спецификации . . . 4
6 Общие требования к сведениям о характеристиках материалов из одностенных углеродных нанотрубок, включаемым в спецификации . . . 5
7 Рекомендуемые формы спецификаций с описанием характеристик материалов из одностенных углеродных нанотрубок . . . 5
7.1 Форма спецификации с общими сведениями о материале из одностенных углеродных нанотрубок . . . 5
7.2 Формы спецификаций с описанием характеристик материалов из одностенных углеродных нанотрубок . . . 6
8 Сведения о методах определения характеристик материалов из одностенных углеродных нанотрубок . . . 9
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации . . . 11
Библиография . . . 11

Введение

Настоящий стандарт является руководством по составлению перечня характеристик материалов из одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ), применяемых для изготовления электротехнических изделий и изделий электронной техники, с целью согласования этих характеристик между изготовителем и потребителем и включения данных характеристик в спецификации при поставках материалов.

Промышленные ОУНТ бывают различных видов, например вид ОУНТ зависит от их структуры. Структура ОУНТ влияет на электрические, оптические и химические характеристики, поэтому при определении этих характеристик следует учитывать структуру ОУНТ.

Для обеспечения изготовления промышленных материалов из ОУНТ с предсказуемыми характеристиками с применением воспроизводимых типовых технологических процессов и соответствующего технологического оборудования необходимо наличие у изготовителя и потребителя унифицированных форм спецификаций с описанием характеристик материалов из ОУНТ и указанием стандартизованных методов определения этих характеристик.

Основная задача электротехнической промышленности — организация массового производства материалов (особенно особо чистых материалов без примесей) из одного вида ОУНТ (например, ОУНТ определенной длины с полупроводниковыми свойствами) при минимальных финансовых затратах. Надежным источником сведений о характеристиках материалов из ОУНТ (длине, диаметре, хиральности, типе электропроводности ОУНТ и уровне чистоты материала) является составленная по стандартизованной форме спецификация, содержащая описание характеристик, их номинальные значения и допустимые отклонения, а также информацию о методах определения характеристик, которую можно использовать для целей подтверждения соответствия. Применение таких спецификаций позволит потребителю и изготовителю материалов из ОУНТ сократить финансовые затраты и избежать ошибок при производстве продукции.

Точность методов и результатов измерений, показатели качества материалов из ОУНТ, в том числе жидких или полимерных материалов, содержащих ОУНТ, — все это имеет важное значение для дальнейшего применения ОУНТ. Специалисты различных лабораторий для определения характеристик материалов из ОУНТ используют разные методы измерений и способы обработки результатов этих измерений, поэтому сравнить полученные значения характеристик и оценить качество материалов из ОУНТ не всегда возможно. Применение спецификаций, составленных по стандартизованной форме, будет способствовать обеспечению повторяемости (сходимости) и воспроизводимости методов и результатов измерений, применяемых для определения характеристик материалов из ОУНТ, так как сведения, указанные в спецификациях, можно использовать при оформлении протоколов испытаний, а также позволит потребителям и изготовителям оценить качество этих материалов и конечной продукции.

Кроме того, сведения, содержащиеся в спецификациях, можно использовать при разработке стандартов на стандартные образцы материалов из ОУНТ, что внесет существенный вклад в развитие методов, применяемых для определения характеристик этих материалов, так как будут стандартизованы процедуры пробоподготовки, объем и методы отбора проб.

Секретариат МЭК/ТК 113 «Стандартизация нанотехнологий для электротехнических и электронных изделий и систем» заинтересован в получении результатов апробации настоящего стандарта с целью включения дополнительных сведений при последующем его переиздании.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Производство нанотехнологическое

ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

Часть 2-1

Материалы из одностенных углеродных нанотрубок. Формы спецификаций

Nanomanufacturing. Material specifications. Part 2-1. Materials from single-wall carbon nanotubes. Specifications forms

Дата введения — 2016—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт является частью серии стандартов МЭК 62565 и распространяется на материалы из одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ), применяемых для изготовления электротехнических изделий и изделий электронной техники, и содержит рекомендуемые формы спецификаций с описанием характеристик (основных, электрических, оптических, механических и размерных характеристик) материалов из ОУНТ.

Настоящий стандарт распространяется на материалы, содержащие химически модифицированные ОУНТ, полученные способами осаждения из жидкой или газовой фазы исходного материала на подложку.

Настоящий стандарт рекомендует методы определения характеристик материалов из ОУНТ.

Сведения, вносимые в спецификации, должны быть согласованы между изготовителем и потребителем. Допускается не указывать в спецификации характеристики материалов из ОУНТ, не заявленные потребителем.

Примечания

1 Промышленные материалы из ОУНТ содержат не только ОУНТ, но и различные примеси, поэтому в настоящем стандарте установлены формы спецификаций, учитывающих эту особенность материалов из ОУНТ.

2 Для составления спецификаций с описанием характеристик материалов из ОУНТ в соответствии с таблицами 2—8 можно использовать формы спецификаций, размещенные на официальном сайте Международной электротехнической комиссии (МЭК) в разделе МЭК/ТК 113 «Стандартизация нанотехнологий для электротехнических и электронных изделий и систем».

2 Нормативные ссылки

Нижеуказанные стандарты содержат положения, которые посредством ссылок в данном тексте составляют положения настоящего стандарта.

Для датированных ссылок применяют только ту версию, которая была упомянута в тексте. Для недатированных ссылок необходимо использовать самое последнее издание документа (включая любые поправки).

МЭК 62624 Методы измерений электрических свойств углеродных нанотрубок (IEC 62624 Test methods for measurement of electrical properties of carbon nanotubes)

Примечания

1 Дополнительные источники информации приведены в Библиографии.

2 Стандарты на термины и определения в области нанотехнологий разрабатывают в объединенной рабочей группе 1 (ОРГ 1) МЭК/ТК 113 «Стандартизация нанотехнологий для электротехнических и электронных изделий и

Издание официальное

систем» и ИСО/ТК 229 «Нанотехнологии». Опубликованные стандарты на термины и определения будут включены в настоящий стандарт в качестве ссылочных стандартов при последующем его переиздании.

3 Стандарты на методы измерений, применяемые для определения характеристик углеродных нанотрубок, разрабатывают в объединенной рабочей группе 2 (ОРГ 2) МЭК/ТК 113 «Стандартизация нанотехнологий для электротехнических и электронных изделий и систем» и ИСО/ТК 229 «Нанотехнологии». Опубликованные стандарты на методы измерений, применяемые для определения характеристик углеродных нанотрубок, будут включены в настоящий стандарт в качестве ссылочных стандартов при последующем его переиздании.

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **хиральность ОУНТ** (chirality): Характеристика ОУНТ, представляющей собой свернутый в цилиндр лист графена в направлении, заданном значениями n и m вектора хиральности $\vec{C}_h$ (см. рисунок 1).

Примечание — Хиральность ОУНТ влияет на ее электропроводность, плотность, структуру и другие характеристики. В соответствии с таблицей 1 вектор хиральности $\vec{C}_h$ определяют по значениям целых чисел n и m и единичных базисных векторов a_1 и a_2 декартовой системы координат.

3.2 **диаметр ОУНТ** d_t (diameter of single-walled carbon nanotubes d_t): Длина отрезка прямой линии, проходящей через геометрический центр торца перпендикулярно продольной оси ОУНТ и соединяющей его противоположные стороны, значение которой зависит от значений целых чисел n и m*.

3.3 В настоящем стандарте применены следующие обозначения и сокращения:

АСМ (AFM) — атомно-силовая микроскопия;
ВЭЖХ (HPLC) — высокоэффективная жидкостная хроматография;
ГПХ (GPC) — гель-проникающая хроматография;
ИСП-МС (ICP-MS) — масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой;
метод БЭТ (BET) — метод Брунауэра, Эммета и Теллера, применяемый для определения удельной площади поверхности материала, основанный на измерении количества адсорбированного газа [2];
МУНТ (MWCNT) — многостенная углеродная нанотрубка;
ОУНТ (SWCNT) — одностенная углеродная нанотрубка;
ПЭМ (TEM) — просвечивающая электронная микроскопия;
РФЭМ (XPM) — рентгеновская фотоэлектронная микроскопия;
РФЭС (XPS) — рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия;
РЭМ (SEM) — растровая электронная микроскопия;
СБИК (NIR) — спектроскопия в ближней инфракрасной области спектра;
СЗМ (SPM) — сканирующая зондовая микроскопия;
СЗТВМ (SGM) — сканирующая затворная микроскопия;
СЗТМ (SThPM) — сканирующая зондовая тепловая микроскопия;
СКРС (Raman) — спектроскопия комбинационного рассеяния света;
СТМ (STM) — сканирующая туннельная микроскопия;
СТС (STS) — сканирующая туннельная спектроскопия;
ТГА (TGA) — термогравиметрический анализ;
ТГ-МС (TG-MS) — термогравиметрия — масс-спектрометрия;
УНТ (CNT) — углеродная нанотрубка;
УФС (UV) — ультрафиолетовая спектроскопия;
УФС-Вид-БИК (UV-vis-NIR) — спектроскопия в ультрафиолетовой, видимой и ближней инфракрасной областях спектра;
ФЛС (PL) — флуоресцентная спектроскопия;
ФЭС (SPS) — фотоэлектрическая спектроскопия;
ХОГФ (CVD) — химическое осаждение из газовой фазы;
ЭДРС (EDX) — энергодисперсионная рентгенофлуоресцентная спектрометрия;
ЭСМ (EFM) — электростатическая силовая микроскопия.

---

* Определение термина, изложенного в МЭК/ПАС 62565-2-1, дополнено для лучшего понимания текста настоящего стандарта.

Примечания

1 Стандарты на термины и определения в области нанотехнологий разрабатывают в объединенной рабочей группе 1 (ОРГ 1) МЭК/ТК 113 «Стандартизация нанотехнологий для электротехнических и электронных изделий и систем» и ИСО/ТК 229 «Нанотехнологии». Соответствующие термины и определения из опубликованных стандартов будут включены в настоящий стандарт при его последующем переиздании. В настоящем стандарте применены термины и определения понятий, используемые в научной литературе.

2 Стандарты на методы измерений, применяемые для определения характеристик УНТ, разрабатывают в объединенной рабочей группе 2 (ОРГ 2) МЭК/ТК 113 «Стандартизация нанотехнологий для электротехнических и электронных изделий и систем» и ИСО/ТК 229 «Нанотехнологии». Соответствующие термины и определения, относящиеся к методам измерений, будут включены в настоящий стандарт при его последующем переиздании. В настоящем стандарте применены термины и определения понятий, относящихся к методам измерений, используемые в научной литературе.

4 Основные характеристики одностенных углеродных нанотрубок

В настоящем разделе приведены основные характеристики ОУНТ и их значения, а также определены взаимосвязи значений этих характеристик.

На рисунке 1 представлено изображение фрагмента двухмерного листа графена и векторов, определяющих хиральность.

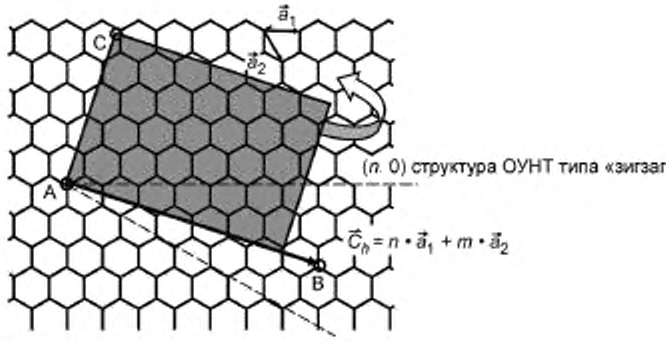


Рисунок 1 — Изображение фрагмента двухмерного листа графена и векторов, определяющих хиральность

Графен представляет собой монослой атомов углерода, в котором каждый атом связан с тремя соседними, образуя сотовую структуру. На рисунке 1 изображены: фрагмент двухмерного листа графена; вектор хиральности $\vec{C}_h$, соединяющий две эквивалентные точки A и B, совпадающие при сворачивании листа графена в цилиндр (ОУНТ); ось ОУНТ, параллельная прямой линии, соединяющей точки A и C; m и n — целые числа, задающие направление сворачивания листа графена в цилиндр (ОУНТ). В зависимости от значений m и n различают ОУНТ со структурой типа «кресло» (при $n = m$) и структурой типа «зигзаг» (при $m = 0$). Угол, образованный вектором $\vec{a}_1$ и вектором хиральности $\vec{C}_h$, называют углом хиральности и обозначают символом Θ.

На рисунке 2 представлено изображение фрагмента ОУНТ со структурой типа «кресло» при $\Theta = 30°$ (значение угла хиральности определено в соответствии с таблицей 1).

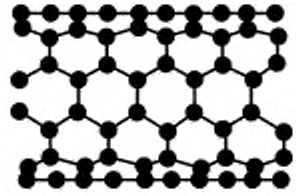


Рисунок 2 — Изображение фрагмента ОУНТ со структурой типа «кресло»

На рисунке 3 представлено изображение фрагмента ОУНТ со структурой типа «зигзаг» при $\Theta = 0°$ (значение угла хиральности определено в соответствии с таблицей 1).

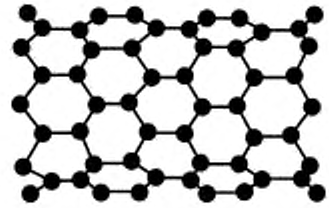


Рисунок 3 — Изображение фрагмента ОУНТ со структурой типа «зигзаг»

В зависимости от значений *n* и *m* различают ОУНТ *с* проводниковыми или полупроводниковыми свойствами. Значение диаметра ОУНТ d_t зависит от значения модуля вектора хиральности $|\dot{C}_h|$.

Основные характеристики ОУНТ [1] приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Основные характеристики ОУНТ

Буквенное обозначение	Наименование характеристики	Формула	Значение
$a_{C\text{-}C}$	Длина углерод-углеродной связи в графене (атомы углерода в состоянии sp^2 гибридизации)	—	0,1421 нм
A	Длина единичного вектора	$\sqrt{3}\cdot a_{C-C}$	В координатах *x*, *y*
$\dot{a}_1\,\dot{a}_2$	Единичные базисные векторы	$(\sqrt{3}/2,\frac{1}{2})\cdot a,(\sqrt{3}/2,-\frac{1}{2})\cdot a$	В координатах *x*, *y*
C_h	Вектор хиральности	$n\cdot\dot{a}_1 + m\cdot\dot{a}_2 = (n, m)$	*n*, *m* — целые числа
L	Длина окружности	$a\sqrt{n^2+m^2+n\cdot m} = \lvert C_h\rvert$	$0 \le \lvert m\rvert \le n$
d_t	Диаметр	$\frac{L}{\pi}$	—
Θ	Угол хиральности(по внутренней стенке)	$\operatorname{tg}\Theta = \frac{\sqrt{3}\cdot m}{2\cdot n + m}$	$0 \le \lvert\Theta\rvert \le 30°$

5 Общие требования к сведениям о методах определения характеристик материалов из одностенных углеродных нанотрубок, включаемым в спецификации

Потребитель и изготовитель согласовывают и включают в спецификации значения характеристик материалов из ОУНТ и указывают методы их определения. В случае отсутствия стандартизованного метода в спецификациях допускается указывать методы, установленные в стандартах или технических условиях на материалы из конкретных видов ОУНТ. В настоящем стандарте для определения каждой характеристики материала из ОУНТ рекомендован один метод.

В случае отсутствия стандартизованного метода для определения характеристики материалов из ОУНТ, спецификацию дополняют протоколом испытаний, в который включают следующие сведения:

- описание процедуры пробоподготовки;
- методика выполнения измерений;
- объем пробы и ее статистическая значимость;

- описание обработки результатов измерений и получения значений характеристик материала из ОУНТ.

Методы и методики измерений, применяемые для определения характеристик, выбирают исходя из функционального назначения материала из ОУНТ, а также с учетом стоимости проведения измерений, точности и воспроизводимости выбранного метода и получаемых результатов измерений.

6 Общие требования к сведениям о характеристиках материалов из одностенных углеродных нанотрубок, включаемым в спецификации

Потребитель и изготовитель согласовывают и включают в спецификации перечень характеристик материалов из ОУНТ, подлежащих поставке, приводят описание и устанавливают значения этих характеристик. Показатели качества выпускаемых изготовителем материалов из ОУНТ должны быть стабильны и подтверждены соответствующими методами контроля; технологические процессы должны быть аттестованы в установленном порядке.

В спецификации в качестве основных характеристик материалов из ОУНТ включают характеристики, представленные в таблице 3.

7 Рекомендуемые формы спецификаций с описанием характеристик материалов из одностенных углеродных нанотрубок

7.1 Форма спецификации с общими сведениями о материале из одностенных углеродных нанотрубок

Промышленные материалы из ОУНТ содержат различные примеси, поэтому изготовитель и потребитель должны согласовывать общие сведения о материале из ОУНТ. В таблице 2 приведена форма спецификации с описанием общих сведений о материале из ОУНТ.

Таблица 2 — Форма спецификации с описанием общих сведений о материале из ОУНТ

Характеристика материала из ОУНТ	Общие сведения	Дата
Номер спецификации		
Уровень контроля		
Номер партии/вид контроля		
Способ изготовления	[ ] лазерная абляция; [ ] разложение монооксида углерода при высоком давлении; [ ] ХОГФ; [ ] электродуговой способ; [ ] пиролиз; [ ] другой способ	
Функционализация*	Функционализация с образованием ковалентной связи [ ] Функционализация с образованием нековалентных связей [ ] Функционализация торцов ОУНТ [ ] Функционализация боковой поверхности ОУНТ [ ]	
Дисперсионная среда		
Метод диспергирования		

* Более подробные сведения о данной характеристике будут включены в настоящий стандарт при его последующем переиздании с учетом соответствующих стандартов, разработанных в МЭК/ТК 113 «Стандартизация нанотехнологий для электротехнических и электронных изделий и систем» и ИСО/ТК 229 «Нанотехнологии».

7.2 Формы спецификаций с описанием характеристик материалов из одностенных углеродных нанотрубок

7.2.1 Форма спецификации с описанием основных характеристик материалов из одностенных углеродных нанотрубок

В таблице 3 приведена форма спецификации с описанием основных характеристик материалов из ОУНТ [1], которые должны согласовывать между собой изготовитель и потребитель.

Таблица 3 — Форма спецификации с описанием основных характеристик материалов из ОУНТ

Характеристика материала из ОУНТ		Описание или значение характеристики, допустимое отклонение	Метод определения характеристики	Дополнительные методы определения характеристики
3-1	Структура ОУНТ	[ ] тип «кресло»; [ ] тип «зигзаг»; [ ] хиральность; вектор хиральности: n = [ ]; m = [ ]	СКРС, ПЭМ	ФЛС
3-2	Наружный диаметр ОУНТ	[ ] номинальное значение, нм; ± [ ] допустимое отклонение, нм	ПЭМ	АСМ, ФЛС, РЭМ, СЗМ, СКРС
3-3	Длина ОУНТ	[ ] номинальное значение, мкм; ± [ ] допустимое отклонение, мкм	РЭМ	ПЭМ, СЗМ, СКРС
3-4	Массовая доля ОУНТ	Более [ ] %	ТГА	СБИК, СКРС, ИСП-МС
3-5	Массовая доля других углеродных соединений	Не более [ ] %	ТГА	СБИК, ИСП-МС, СКРС, РФЭМ
3-6	Массовая доля металлических примесей	Не более [ ] %	ИСП-МС (ИСО/ТС 13278) [11]	ТГА, СБИК, РФЭМ, РФЭС
3-7	Массовая доля других примесей	Не более [ ] %	ИСП-МС (ИСО/ТС 13278) [11]	РФЭС

7.2.2 Формы спецификаций с описанием электрических характеристик материалов из одностенных углеродных нанотрубок

В таблицах 4—6 приведены формы спецификаций с описанием электрических характеристик материалов из ОУНТ, которые должны согласовывать между собой изготовитель и потребитель.

Примечания

1 Значения электрических характеристик ОУНТ зависят от числа ОУНТ (единичная или пучок ОУНТ), на которых выполнены измерения, от типа и свойств контактов, приложенных к нанотрубке(ам), поэтому при составлении спецификаций с описанием электрических характеристик материалов из ОУНТ необходимо учитывать данную информацию.

2 Спецификации составляют на основе информации, представленной в протоколах испытаний материалов из ОУНТ, в которых должны быть указаны сведения об обеспечении представительности пробы и распределении ОУНТ по видам в партии испытуемого материала.

3 Дополнительная информация об электрических характеристиках ОУНТ [3]—[8].

Таблица 4 — Форма спецификации с описанием электрических характеристик материалов из ОУНТ

Характеристика материала из ОУНТ		Описание или значение характеристики, допустимое отклонение	Единичная, или пучок ОУНТ, или и то и другое	Метод определения характеристики	Дополнительные методы определения характеристики
4-1	Тип электропроводности	[ ] проводниковые свойства; [ ] полупроводниковые свойства: [ ] тип 1 — широкозонный; [ ] тип 2 — узкозонный	Пучок ОУНТ	СКРС По ИСО/ТС 10868 [12]	ЭСМ, СЗТВМ, СТМ, СТС

Таблица 5 — Форма спецификации с описанием электрических характеристик материалов из ОУНТ с проводниковыми свойствами

Характеристика материала из ОУНТ		Описание или значение характеристики, допустимое отклонение	Единичная, или пучок ОУНТ, или и то и другое	Метод определения характеристики	Дополнительные методы определения характеристики
5-1	Удельное электрическое сопротивление	[ ] ± x %, Ом · м, при t = 20 °С; [ ] номинальное значение, Ом · м; ± [ ] допустимое отклонение, Ом · м	Единичная и пучок ОУНТ	По МЭК 62624	ЭСМ, СЗТВМ, СТМ, СТС
5-2	Плотность электрического тока	[ ] ± x %, А/м^2; [ ] номинальное значение, А/м^2; ± [ ] допустимое отклонение, А/м^2	Единичная и пучок ОУНТ	По МЭК 62624	ЭСМ, СЗТВМ, СТМ, СТС

Таблица 6 — Форма спецификации с описанием электрических характеристик материалов из ОУНТ с полупроводниковыми свойствами

Характеристика материала из ОУНТ		Описание или значение характеристики, допустимое отклонение	Единичная, или пучок ОУНТ, или и то и другое	Метод определения характеристики	Дополнительные методы определения характеристики
6-1	Подвижность носителей заряда	[ ] ± x %, м^2/В · с; [ ] номинальное значение, м^2/В · с; ± [ ] допустимое отклонение, м^2/В · с	Единичная и пучок ОУНТ	*	—
6-2	Ширина запрещенной зоны	E_g = [ ] номинальное значение, эВ; E_g = ± [ ] допустимое отклонение, эВ	Единичная ОУНТ	*	—
6-3	Тип носителя заряда	[ ] n [ ] p	Единичная ОУНТ	*	—
6-4	Концентрация примесей	[ ] номинальное значение, м$^{-3}$; ± [ ] допустимое отклонение, м$^{-3}$	Единичная и пучок ОУНТ	*	—
6-5	Другие характеристики (если требуется)				

* В настоящем стандарте рекомендации по применению конкретного метода отсутствуют. В спецификации допускается указывать методы, установленные в стандартах или технических условиях на материалы из конкретных видов ОУНТ и согласованные между потребителем и изготовителем.

7.2.3 Форма спецификации с описанием оптических характеристик материалов из одностенных углеродных нанотрубок

В таблице 7 приведена форма спецификации с описанием оптических характеристик материалов из ОУНТ, которые должны согласовывать между собой изготовитель и потребитель.

Таблица 7 — Форма спецификации с описанием оптических характеристик материалов из ОУНТ

Характеристика материала из ОУНТ		Описание или значение характеристики, допустимое отклонение	Единичная, или пучок ОУНТ, или и то и другое	Метод определения характеристики	Дополнительные методы определения характеристики
7-1	Спектр поглощения	*	Единичная и пучок ОУНТ	Методы определения оптического спектра поглощения	—
7-2	Другие характеристики (если требуется)				

* В настоящем стандарте сведения об описании или значениях данной характеристики отсутствуют. Описание или значение характеристики будут включены в настоящий стандарт при последующем его переиздании с учетом соответствующих стандартов, разработанных в МЭК/ТК 113 «Стандартизация нанотехнологий для электротехнических и электронных изделий и систем» и ИСО/ТК 229 «Нанотехнологии». В спецификации допускается указывать описание и значения данной характеристики, установленные в стандартах или технических условиях на материалы из конкретных видов ОУНТ и согласованные между потребителем и изготовителем.

7.2.4 Форма спецификации с описанием механических и размерных характеристик материалов из одностенных углеродных нанотрубок

В таблице 8 приведена форма спецификации с описанием механических и размерных характеристик материалов из ОУНТ, которые должны согласовывать между собой изготовитель и потребитель.

Таблица 8 — Форма спецификации с описанием механических и размерных характеристик материалов из ОУНТ

Характеристика материала из ОУНТ		Описание или значение характеристики, допустимое отклонение	Единичная, или пучок ОУНТ, или и то и другое	Метод определения характеристики	Дополнительные методы определения характеристики
8-1	Модуль упругости	[ ] номинальное значение, Па; ± [ ] допустимое отклонение, Па	Единичная ОУНТ	*	—
8-2	Предел прочности при растяжении	[ ] номинальное значение, Па; ± [ ] допустимое отклонение, Па	Единичная ОУНТ	*	—
8-3	Теплопроводность	[ ] ± x %, Вт/м · К; [ ] номинальное значение, Вт/м · К; ± [ ] допустимое отклонение, Вт/м · К	Единичная и пучок ОУНТ	СЗТМ	АСМ
8-4	Удельная площадь поверхности	[ ] номинальное значение, $м^2/г$; ± [ ] допустимое отклонение, $м^2/г$	Единичная и пучок ОУНТ	Метод БЭТ	РФЭМ

* В настоящем стандарте рекомендации по применению конкретного метода отсутствуют. В спецификации допускается указывать методы, установленные в стандартах или технических условиях на материалы из конкретных видов ОУНТ и согласованные между потребителем и изготовителем.

8 Сведения о методах определения характеристик материалов из одностенных углеродных нанотрубок

Для определения характеристик материалов из ОУНТ применяют методы ТГА, РЭМ, ПЭМ, СКРС, УФС-Вид-БИК, АСМ, СЗМ, ФЛС и ТГ-МС.

Методом ТГА в образце материала из ОУНТ определяют содержание углеродных соединений и других примесей, однородность партии и термостойкость материала.

Метод РЭМ применяют для определения качества материала из ОУНТ. С помощью ПЭМ получают сведения о структуре поверхности отдельных ОУНТ, выявляют наличие и определяют содержание металлических примесей и других углеродных соединений в материале из ОУНТ.

Методом СКРС определяют содержание ОУНТ и других углеродных соединений в материале, виды ОУНТ. Методом СКРС можно подтвердить данные, полученные методами РЭМ и ПЭМ. РЭМ и ПЭМ применяют для анализа выборок малого объема, поэтому иногда невозможно получить полную информацию о характеристиках всей партии материала из ОУНТ из-за его неоднородности.

УФС-Вид-БИК применяют для описания характеристик углеродных соединений, присутствующих в материале, и определения наличия единичных ОУНТ и/или их пучков.

Показателем качества материала является наличие в нем необходимого процентного содержания ОУНТ. Для этих целей применяют ПЭМ и РЭМ. Методы определения процентного содержания ОУНТ в материале с помощью ПЭМ и РЭМ должны быть установлены в стандартах или технических условиях на материалы из конкретных видов ОУНТ. Для определения количественного содержания ОУНТ в материале применяют в сочетании методы ТГА, СКРС и СБИК.

Удельное электрическое сопротивление материалов из ОУНТ определяют по МЭК 62624.

В таблице 9 представлена сводная таблица методов, применяемых для определения характеристик материалов из ОУНТ.

Таблица 9 — Сводная таблица методов, применяемых для определения характеристик материалов из ОУНТ

Характеристика материала из ОУНТ	Метод определения характеристики						
	РЭМ/ЭДРС	ПЭМ	СКРС	УФС-Вид-БИК	СБИК-ФЛС	ТГА	ТГ-МС
Морфология ОУНТ	Структура единичной ОУНТ, структура, форма и размеры пучка ОУНТ, пространственная ориентация	Структура стенки ОУНТ, наличие аморфного углерода, наличие частиц металлического катализатора	—	—	—	—	—
Уровень чистоты материала	Массовая доля неуглеродных примесей	Наличие/отсутствие инородных частиц на поверхности ОУНТ	Массовая доля ОУНТ и других неуглеродных нанотрубок	Массовая доля (количество) углеродных соединений	—	Массовая доля (количество) неуглеродных примесей	Массовая доля (количество) неуглеродных примесей
						Массовая доля (количество) примесей (не ОУНТ)	
Длина и диаметр ОУНТ	Длина и диаметр ОУНТ	Диаметр ОУНТ, размер кластера металлических частиц	Диаметр ОУНТ	Диаметр ОУНТ	Диаметр ОУНТ	—	—

Окончание таблицы 9

Характеристика материала из ОУНТ	Метод определения характеристики						
	РЭМ/ЭДРС	ПЭМ	СКРС	УФС-Вид-БИК	СБИК-ФЛС	ТГА	ТГ-МС
Тип электропроводности ОУНТ	—	—	Проводниковые свойства/ полупроводниковые свойства	Проводниковые свойства/ полупроводниковые свойства	Хиральность (для ОУНТ с полупроводниковыми свойствами)	—	—
Дисперсность/растворимость	Пучок ОУНТ	—	—	Единичная и пучок ОУНТ (для суспензий из ОУНТ)	Пучок ОУНТ	—	—
Другие характеристики	—	—	—	—	—	Окисление/критическая температура хрупкости	Окисление/критическая температура хрупкости
Характеристика материала из ОУНТ	Метод определения характеристики						
	АСМ	СЗТВМ	СЗМ	СТС	СЗТМ	СТМ	—
Морфология ОУНТ	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	—
Уровень чистоты материала	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	—
Длина и диаметр ОУНТ	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	—
Тип электропроводности ОУНТ	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	—
Дисперсность/растворимость материала	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	—
Другие характеристики	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	ВСР	—

Примечания

1 ВСР — «В стадии рассмотрения». В настоящем стандарте сведения о возможности определения характеристики материала из ОУНТ данным методом отсутствуют. После разработки стандартов в МЭК/ТК 113 «Стандартизация нанотехнологий для электротехнических и электронных изделий и систем» и ИСО/ТК 229 «Нанотехнологии» соответствующие сведения будут включены в настоящий стандарт при его последующем переиздании.

2 Сведения о других характеристиках материалов из ОУНТ будут включены в настоящий стандарт при его последующем переиздании с учетом соответствующих стандартов, разработанных в МЭК/ТК 113 « Стандартизация нанотехнологий для электротехнических и электронных изделий и систем» и ИСО/ТК 229 «Нанотехнологии».

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 62624.2009	IDT	ГОСТ Р МЭК 62624-2013 «Нанотрубки углеродные. Методы определения электрических характеристик»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта: - IDT — идентичный стандарт.		

Библиография

[1] Physical Properties of Carbon Nanotubes. Edited by R. Saito, G. Dresselhaus and M.S. Dresselhaus, Imperial College Press, London, 1998

[2] BRUNAUER, S., EMMETT, P.H. and TELLER E. Adsorption of gases in multimolecular layers. J. Amer. Chem. Soc. 60(1938) 309

[3] THESS, A. et al. Crystalline Ropes of Metallic Carbon Nanotubes. Science, 1996, 273, pp. 483—487

[4] FRANK, Stefan et al. Carbon Nanotube Quantum Resistors. Science, 1998, 280, pp. 1744—1746

[5] McEUEN, P.J, PARK, Y. Electron Transport in Single Walled Carbon Nanotubes. MRS Bull., 2004, 29, pp. 272—275

[6] HONE, J., WHITNEY, M., ZETTL, A. Synthetic Metals, 103, 1999 p. 2498

[7] FUHRER, Michael, PARK, Hongkun and McEUEN, Paul L. Single-Walled Carbon Nanotube Electronics. IEEE Trans. on Nanotech, 2002, 1, p. 78

[8] PARK, J.-Y.; ROSENBLATT, S.; YAISH, Y.; SAZONOVA, V., ÜSTÜNEL, H.; BRAIG, S.; ARIAS, T. A.; BROUWER, P. W.; McEUEN, P. L. Electron-Phonon Scattering in Metallic Single-Walled Carbon Nanotubes. Nano Lett. 2004, p. 517

[9] ISO/TS 80004-1 ИСО/ТС 80004-1 Nanotechnologies — Vocabulary — Part 1: Core terms (Нанотехнологии. Словарь. Часть 1. Основные термины)

[10] ISO/TS 80004-3 ИСО/ТС 80004-3 Nanotechnologies — Vocabulary — Part 3: Carbon nano-objects (Нанотехнологии. Словарь. Часть 3. Углеродные нанообъекты)

[11] ISO/TS 13278 ИСО/ТС 13278 Nanotechnologies — Determination of elemental impurities in samples of carbon nanotubes using inductively coupled plasma mass spectrometry (Нанотехнологии. Определение элементных примесей в образцах углеродных нанотрубок с применением масс-спекетрометрии с индуктивно-связанной плазмой)

[12] ISO/TS 10868 ИСО/ТС 10868 Nanotechnologies — Characterization of single-wall carbon nanotubes using ultraviolet-visible-near infrared (UV-Vis-NIR) absorption spectroscopy (Нанотехнологии. Описание характеристик одностеночных углеродных нанотрубок с использованием инфракрасной, почти видимой в ультрафиолете, абсорбционной спектрометрии)

УДК 661.666:006.354 ОКС 07.030

Ключевые слова: производство нанотехнологическое, характеристики материалов, материалы из одностенных углеродных нанотрубок, формы спецификаций

Редактор *Шмакова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *В.И. Варенцова*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 22.12.2015. Подписано в печать 08.02.2016. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,50. Тираж 30 экз. Зак. 263.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru