INSO

19093-2-1

1st.Edition

2015

جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران

۱۹۰۹۳-۲-۱

چاپ اول

۱۳۹۳

فناوری نانو- ویژگی‌های مواد- قسمت ۲-۱: نانولوله‌های کربنی تک‌جداره- ویژگی‌های تفصیلی

Nanotechnology – Material specifications – Part 2-1: Single-wall carbon nanotubes – Blank detail specification

ICS: 07.030

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان ، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود . پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذینفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب ، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود . بدین ترتیب ، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور ، از آخرین پیشرفت های علمی ، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود .

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون ، برای حمایت از مصرف کنندگان ، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی ، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی ، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور ، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره ، آموزش ، بازرسی ، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی ، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش ، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم ، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها ، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش ، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2 - International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

"فناوری‌نانو- ویژگی‌های مواد- قسمت ۲-۱: نانولوله‌های کربنی تک‌جداره- ویژگی-های تفصیلی"

رئیس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
مسروری، حسن	عضو هیات علمی، پژوهشگاه استاندارد
(دکترای شیمی)	
دبیر:	
آل‌علی، هدی	عضو هیات علمی، پژوهشگاه استاندارد
(دکترای فیزیک)	
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
سرخوش، لیلا	عضو هیات علمی، سازمان انرژی اتمی ایران
(دکترای فیزیک)	
سمیعی، لیلا	عضو هیات علمی، پژوهشگاه صنعت نفت
(دکترای مواد)	
سیفی، مهوش	کارشناس استاندارد
(کارشناس ارشد مدیریت دولتی)	
گل‌زردی، سمیرا	کارشناس ستاد ویژه توسعه فناوری نانو
(کارشناس ارشد مهندسی مواد)	
میرزایی کجانی، مریم	عضو هیات علمی، پژوهشگاه استاندارد
(دکترای فیزیک)	

میرکاظمی، سید محمد عضو هیات علمی، دانشگاه علم و صنعت

(دکترای مهندسی مواد)

فهرست مندرجات

عنوان		صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد		ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد		ج
پیش گفتار		ز
مقدمه		ح
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۱
۳	اصطلاحات، تعاریف و اختصارات	۲
۴	اطلاعات پایه	۳
۵	معرفی عمومی روش‌های اندازه‌گیری	۵
۶	الزامات ویژگی‌های پایه	۶
۷	قالب‌های پیشنهادی برای مشخصات نانولوله‌های کربنی تک‌جداره	۶
۱-۷	اطلاعات عمومی تولید	۶
۲-۷	مشخصه‌یابی نانولوله‌های کربنی تک‌جداره	۷
۱-۲-۷	مشخصه‌های عمومی	۷
۲-۲-۷	مشخصه‌های الکتریکی	۸
۳-۲-۷	مشخصه‌های نوری	۱۰
۴-۲-۷	مشخصه‌های مکانیکی و ابعادی	۱۱
۸	مروری بر روش‌های آزمون	۱۲
شکل ۱- صفحه گرافنی دو بعدی با بردارهای معرف کایرالیتی		۴
شکل ۲- نمونه‌ای از لوله آرمچیر (جهت $\theta = 30^{\circ}$، θ در جدول ۱ تعریف شده است) (جهت دید به صورت عمود بر محور CNT)		۴
شکل ۳- لوله زیگزاگی (جهت $\theta = 0^{\circ}$، θ در جدول ۱ تعریف شده است) (جهت دید به صورت عمود بر محور CNT)		۵
جدول ۱ - پارامترهای نانولوله های کربنی تک‌جداره		۵

جدول ۲- قالبی برای اطلاعات عمومی ۷
جدول۳ - قالبی برای مشخصات عمومی ۸
جدول۴- قالبی برای مشخصه‌های الکتریکی ۹
جدول ۵ - قالبی برای مشخصه‌های الکتریکی CNT های تک‌جداره فلزی ۹
جدول ۶ - قالبی برای مشخصه‌های الکتریکی CNTهای تک‌جداره نیمه‌رسانا ۱۰
جدول۷- قالبی برای مشخصه‌های نوری ۱۱
جدول ۸- قالبی برای مشخصه‌های مکانیکی و ابعادی ۱۱
جدول ۹- خلاصه‌ای از روش‌های آزمون ۱۳
پیوست (اطلاعاتی) کتابنامه ۱۴

پیش‌گفتار

استاندارد " فناوری نانو- ویژگی‌های مواد- قسمت ۲-۱: نانولوله‌های کربنی تک جداره- ویژگی‌های تفصیلی" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی ایران تهیه و تدوین شده و درپانزدهمین اجلاس کمیتهٔ ملی فناوری نانو مورخ۹۳/۱۱/۱۵ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیهٔ این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است :

IEC/PAS 62565-2-1: 2011, Nanomanufacturing - Material specifications - Part 2-1: Single-wall carbon nanotubes - Blank detail specification.

مقدمه

این استاندارد راهنمایی در مورد چگونگی فهرست کردن، نمایش دادن و تعریف مشخصه‌های مختلف نانولوله‌های کربنی تک‌جداره (SWCNTs)[1] جهت مصارف صنعتی در محصولات الکترونیکی و نحوه به-کارگیری این اطلاعات در ویژگی‌های تفصیلی دوطرفه بین طرفین ذینفع می‌باشد.

نکته خاص و قابل توجه این است که شکل‌های متفاوتی برای نانولوله‌های کربنی وجود دارد. اختلاف‌های بسیار کوچک و ظریف در ساختار فیزیکی موجب ایجاد تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای در خواص شیمیایی، نوری و الکتریکی می‌شود؛ از این رو این مشخصه‌ها باید مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

استفاده از تجهیزات و فرآیندهای معمول در خطوط تولید چندگانه با نتایج قابل پیش‌بینی و قابل باز تولید، مستلزم توصیف و ارزیابی مشخصه‌های نانولوله کربنی به روشی استاندارد و همچنین استانداردسازی روش-های کنترل کیفیت فرآیندهای ساخت می‌باشد.

برای توانمندی در تولید انبوه و کم هزینه (ویا تولید اجزای خالص)، وجود روشی قابل اطمینان و مقرون به صرفه در تهیه هر نوع از نانو لوله‌های کربنی (به طور مثال نانو لوله‌های کربنی نیمه‌رسانای تک‌جداره با طول ویژه معین) الزامی است. برای دسترسی آسان به منبعی قابل اطمینان از نانولوله‌های کربنی با خواص مورد نظر (طول، قطر، خلوص، کایرالیتی، نوع رسانایی)، ضروری است مشخصات به طور استاندارد تعیین شوند. این روش بیانگر حدود ویژگی‌ها و روش‌های مشخصه‌یابی برای اثبات تطابق است.

اندازه‌گیری و تعیین دقیق کیفیت مواد حاوی نانو لوله‌ها و پخش نانولوله‌ها در مایعات یا پلیمرها ، هر دو در افزایش مستمر کاربردهای ترکیبات نانو لوله‌های کربنی تک‌جداره بسیار مهم هستند. تفاوت‌های قابل ملاحظه در روش‌شناسی و تفسیر، از یک آزمایشگاه اندازه گیری به آزمایشگاه دیگر همیشه وجود دارد. به همین دلیل، مقایسه و تعیین کیفیت مواد متشکل از نانو لوله‌های کربنی امری دشوار است. با وجودی که اندازه‌گیری‌ها رو به پیشرفت است، نیاز به بهبود عمده در اندازه‌گیری و مشخصه‌یابی دقیق کیفیت مواد حاوی نانولوله‌های کربنی و دستورالعمل‌هایی برای انجام این کار وجود دارد (به عنوان مثال چگونگی توصیف/ تعیین مشخصه‌های مربوط به کیفیت نانو محصول نهایی).

علاوه بر این، توسعه مواد مرجع به همان میزان که روش‌های اندازه‌گیری / مشخصه‌یابی اهمیت دارند، مهم هستند. همچنین، برای هر روش تجزیه و تحلیل باید روش آماده‌سازی نمونه، اندازهٔ نمونه و روش نمونه-گیری کاملا مشخص شود.

1- Single-wall carbon nanotubes

فناوری نانو- ویژگی‌های مواد- قسمت ۲-۱: نانولوله‌های کربنی تک جداره- ویژگی‌های تفصیلی

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین ویژگی‌های تفصیلی خواص الکتریکی اصلی و برخی از مشخصه‌های معمول دیگر شامل خصوصیات ابعادی، ساختاری و مکانیکی نانولوله‌های کربنی تک‌جداره است.
این استاندارد ویژگی‌های تفصیلی مشخص‌کننده خواص اصلی و اساسی نانولوله‌های تک‌جداره را ارائه کرده و روش‌هایی را برای اندازه‌گیری پیشنهاد می‌کند.
این استاندارد در مورد نانولوله‌های کربنی اصلاح‌شده شیمیایی که در یک حلال پخش شده و یا بر روی یک زیرپایه رشد داده شده‌اند، کاربرد دارد.
این استاندارد در مورد خصوصیات و مشخصات غیرمرتبط برای یک استفاده معین، کاربرد ندارد.

یادآوری- پیشرفت‌های کنونی در ساخت نانولوله‌های کربنی، منجر به تولید نانولوله‌های کربنی تک‌جداره خالصی نمی‌شود. نتایج در بخش الزامات ارائه می‌شوند.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن موردنظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آنها مورد نظر است.

استفاده از مرجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۹۹۳: سال ۱۳۹۳ ، فناوری‌نانو- تعیین ناخالصی‌های عنصری در نمونه-های نانولوله‌های کربنی با استفاده از طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القائی

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۷۴۳ : سال ۱۳۹۱ ، فناوری‌نانو- تعیین مشخصات نانولوله‌های کربنی تک‌جداره با استفاده از طیف‌سنجی جذبی فرابنفش- مرئی- فروسرخ نزدیک

2-3 IEC 62624, Test methods for measurement of electrical properties of carbon nanotubes

۳ اصطلاحات، تعاریف و اختصارات

در این استاندارد اصطلاحات، تعاریف و اختصارات زیر به‌کار می رود.

۱-۳

کایرالیتی[1]

پیچش نانولوله‌های کربنی که با مقادیر n و m و بردار $\overrightarrow{C_h}$ ، مطابق شکل۱ تعیین می شود.

یادآوری - کایرالیتی بر رسانایی، چگالی، ساختار شبکه و دیگر خواص نانولوله‌ها تاثیر می‌گذارد. بردار کایرال بر حسب اعداد صحیح (n, m) در جدول ۱ تعریف شده است و بردار های اصلی شبکه نیز بر حسب مختصات دکارتی داده شده‌اند.

۲-۳

قطر نانولوله‌های کربنی تک‌جداره

d_t

قطر لوله‌ها که فقط به‌وسیله اعداد صحیح (n, m) تعیین می‌شود.

۳-۳

اختصارات و سرواژه‌ها

AFM میکروسکوپی نیروی اتمی

BET روش برنـائور- امت- تلر[2] که به‌وسیله جذب گاز، مساحت سطح را تعیین می‌کند[۲][3]

CNT نانولوله کربنی

CVD رسوب‌دهی شیمیایی بخار

EDX طیف‌سنجی پرتو ایکس بر اساس توزیع انرژی

EFM میکروسکوپی نیروی الکترواستاتیک

GPC کروماتوگرافی نفوذ ژل

HPLC کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا

ICP-MS پلاسمای جفت شده القایی- طیف‌سنج جرمی

NIR طیف‌بینی فروسرخ نزدیک

PL فوتولومینسانس

1- Chirality
2- Brunauer-Emmett-Teller

۳- اعداد در کروشه به بخش کتابنامه ارجاع داده می‌شوند

Raman طیف‌بینی رامان

SWCNT نانولوله کربنی تک‌جداره

MWCNT نانولوله کربنی چندجداره

SEM میکروسکوپی الکترونی روبشی

SGM نوعی میکروسکوپی پروبی روبشی است[1]

SPM میکروسکوپی پروبی روبشی

SPS طیف‌بینی فوتوولتاژ سطح

STS طیف‌بینی تونلی روبشی

SThPM میکروسکوپی پروبی حرارتی روبشی

STM میکروسکوپی تونلی روبشی

TGA آنالیز جرم‌سنجی حرارتی

TG-MS جرم‌سنجی حرارتی - طیف سنجی جرمی

TEM میکروسکوپی الکترونی عبوری

UV طیف‌بینی فرا بنفش

UV-vis-NIR طیف‌بینی جذبی فرابنفش- مرئی- فروسرخ نزدیک

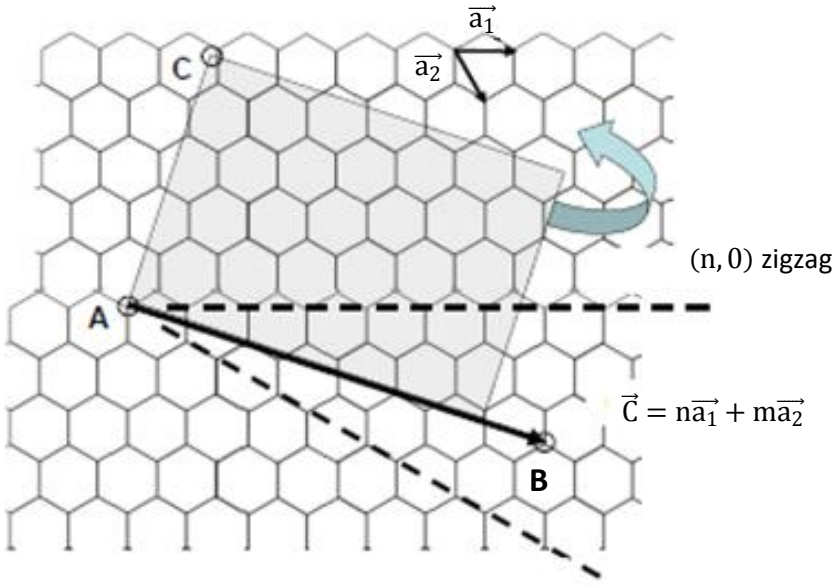
XPM میکروسکوپی فوتوالکترونی اشعهٔ X

XPS طیف‌بینی فوتوالکترونی اشعهٔ X

۴ اطلاعات پایه

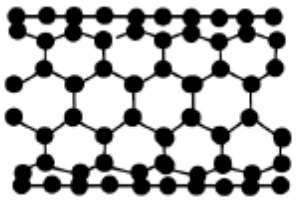
در این بند مشخصه‌های بنیادی نانولوله‌های کربنی تک‌جداره به طور خلاصه ارائه می‌شود که روابط اصلی حاکم بر این پارامترها و مقادیر عددی نوعی آنها را فهرست می‌کند.

۱- SGM نوعی میکروسکوپی پروبی روبشی است که یک سوزن رسانای الکتریکی دارد. این دستگاه رسانایی الکتریکی نمونه را به صورت تابعی از مکان و پتانسیل سوزن اندازه می‌گیرد.



شکل ۱- صفحه گرافنی دو بعدی با بردارهای معرف کایرالیتی

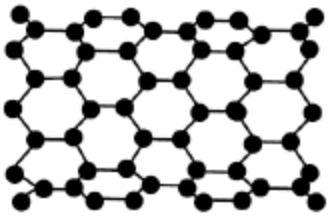
در تک لایه‌های کربنی گرافیت، هر اتم کربن در ساختار لانه زنبوری به سه همسایه متصل می‌شود. بردار کایرال $\overrightarrow{C_h}$ اتصال بین دو نقطه A و B است به‌طوری که وقتی منطقهٔ خاکستری برای تشکیل بخش کوچکی از نانولوله‌های کربنی لوله می‌شود، دو نقطه بر هم منطبق شوند. محور لوله موازی با خط AC می‌باشد. در حالت خاص $n = m$ (تعریف شده در جدول ۱ و شکل ۱) پیکربندی آرمچیر[1] و به ازای $m = 0$ پیکربندی زیگزاگ به‌دست می‌آید، به شکل های۲ و ۳ مراجعه شود. بسته به مقادیر n و m، نانولوله‌های کربنی، فلزی یا نیمه‌رسانا خواهند بود. زاویه بین بردار $\overrightarrow{a_1}$ و بردار کایرال $\overrightarrow{C_h}$، زاویه کایرال θ نامیده می‌شود. طول بردار کایرال L با اندازه قطر لوله ارتباط مستقیم دارد.



شکل ۲- نمونه‌ای از لوله آرمچیر (جهت $\theta = 30^\circ$، θ در جدول ۱ تعریف شده است)

(جهت دید به صورت عمود بر محور CNT)

1- Armchair



شکل ۳- نمونه‌ای از لوله زیگزاگی (جهت $\theta = 0^{\circ}$، θ در جدول ۱ تعریف شده است)

(جهت دید به صورت عمود بر محور CNT)

جدول ۱ - پارامترهای نانولوله های کربنی تک‌جداره[۱]

نماد	عنوان	فرمول	مقدار
a_{C-C}	فاصله کربن-کربن (sp^2)		۰/۱۴۲۱ نانومتر برای گرافن
A	طول بردار واحد	$\sqrt{3}\, a_{C-C}$	در مختصات (x, y)
$\overrightarrow{a_1}$ و $\overrightarrow{a_2}$	بردارهای واحد	$(\sqrt{3}/2,\ 1/2)a$ و $(\sqrt{3}/2,\ -1/2)a$	در مختصات (x, y)
$\overrightarrow{C_h}$	بردار کایرال	$n\overrightarrow{a_1} + m\overrightarrow{a_2} \equiv (n, m)$	n, m اعداد صحیح هستند
L	محیط نانولوله	$a\sqrt{n^2 + m^2 + nm} = \lvert\overrightarrow{C_h}\rvert$	$0 \le \lvert m\rvert \le n$
d_t	قطر نانولوله	L/π	
θ	زاویه کایرال (جداره داخلی)	$\tan\theta = \sqrt{3}m/(2n + m)$	$0 \le \lvert\theta\rvert \le 30^{\circ}$

۵ معرفی عمومی روش‌های اندازه‌گیری

ویژگی پارامترهای نانولوله‌های کربنی باید به روش‌های اندازه‌گیری ارجاع داده شود که در حال حاضر هیچ استانداردی برای آنها وجود ندارد. به دلایل عملی برای استفاده‌های صنعتی در تولید محصولات الکترونیکی، این استاندارد برای هر پارامتر ماده فقط یک روش اندازه‌گیری پیشنهاد می‌کند.

در صورت عدم وجود روش استاندارد مناسب برای استفاده‌های صنعتی، کاربر باید الزامات مستندسازی زیر را برآورده کند:

_ شرح آماده‌سازی نمونه

_ روش‌های اندازه‌گیری

_ اندازهٔ نمونه و اهمیت آماری

_ توضیح اینکه چگونه داده‌های اندازه‌گیری اصلی به پارامتر یا پارمترهای معین مواد تبدیل می‌شوند.

انتخاب روش‌های اندازه‌گیری باید با توجه به کاربرد مواد انجام شود. علاوه بر این ، باید هزینه، کارآمدی[1] و کارآیی روش نیز برآورد شود.

۶ الزامات ویژگی‌های پایه

یک ویژگی پایه از نظر تجاری و فنی، نانولوله‌های کربنی تک‌جداره را توصیف می‌کند که از کیفیت پایدار و کنترل پارامتریک برخوردار هستند. نانولوله‌های کربنی تک‌جداره تولید شده برای تحقق این ویژگی (در فرآیند تولید نانولوله‌های کربنی) باید از طریق بازرسی‌های معمول تایید شوند که نشانگر تحت کنترل بودن فرآیند است.

توصیه می‌شود فهرست مشخصه‌های ارائه شده در جدول ۳ به عنوان الزامات ویژگی‌های پایه مورد استفاده قرار گیرد.

۷ قالب‌های[2] پیشنهادی برای ویژگی‌های نانولوله‌های کربنی تک‌جداره

۷-۱ اطلاعات عمومی تولید

پیشرفت‌های صورت گرفته در ساخت نانولوله‌های کربنی تک‌جداره منجر به تولید خالص آنها نشده است. بنابراین اطلاعات عمومی تولید که در جدول ۲ با جزئیات آمده است باید توسط تامین‌کنندهء کالا ارائه شود.

1- Robustness
2- Format

جدول ۲- قالبی برای اطلاعات عمومی

مورد	اطلاعات	تاریخ
شماره ویژگی عمومی		
سطح بازبینی		
شماره بخش/ بازبینی		
روش رشد	[ ] کندگی لیزری [1] ؛ [ ] فرآیند با فشار بالای مونو اکسید کربن؛ [ ] رسوب‌دهی شیمیایی بخار (CVD)؛ [ ] سنتز قوس الکتریکی؛ [ ] احتراق؛ [ ] سایر (تعیین شود)؛	
عامل‌دار کردن (جزئیات ذکر شود)	[ ] کوالانسی [ ] عامل‌دار کردن غیرکوالانسی [ ] عامل‌دار کردن ابتدا و انتهای نانولوله [ ] عامل‌دار کردن دیواره نانولوله	
عامل پخش‌کنندگی		
روش پخش‌کنندگی		
1- Laser Ablation		

۷-۲ مشخصه‌یابی نانولوله‌های کربنی تک‌جداره

۷-۲-۱ مشخصه‌های عمومی

مشخصات عمومی که در جدول ۳ با جزئیات آورده شده است، باید میان ذینفعان مورد توافق قرار گیرد. این استاندارد در مورد خصوصیات و مشخصات غیرمرتبط برای یک استفاده معین، کاربرد ندارد.

.

جدول۳ - قالبی برای مشخصات عمومی

مورد		ویژگی	روش(های) پیشنهادی	دیگر روش‌های اندازه-گیری
۳-۱	جهت‌گیری	[ ] آرمچیر، [ ] زیگزاگ، [ ] کایرال بردار کایرال (تعیین شود): m = [ ]، n = [ ]	Raman, TEM	طیف‌بینی فلورسانس
۳-۲	قطر خارجی	nm [ ] رواداری ± [ ] اسمی	TEM	AFM; Fluorescence; SEM; SPM; Raman; PL
۳-۳	طول	µm [ ] رواداری ± [ ] اسمی	SEM	TEM; SPM; Raman;
۳-۴	مقدار SWCNT	بیشتر از: [ ] درصد وزنی	TGA	NIR; Raman ICP-MS;
۳-۵	مقادیر انواع کربن	کمتر از: [ ] درصد وزنی	TGA	NIR; ICP-MS ; Raman; XPM
۳-۶	مقدار فلز	کمتر از: [ ] درصد وزنی	ICP-MS (استاندارد ملی شمارهٔ ۱۷۹۹۳)	TGA; NIR; XRF, XPS
۳-۷	سایر ناخالصی‌ها	کمتر از: [ ] درصد وزنی	ICP-MS (استاندارد ملی شمارهٔ ۱۷۹۹۳)	XPS

۷-۲-۲ مشخصه‌های الکتریکی

آن دسته از مشخصه‌های الکتریکی که با جزئیات در جدول‌های ۴ تا ۶ آمده‌اند باید میان ذینفعان مورد توافق باشند. این استاندارد در مورد خصوصیات و مشخصات غیرمرتبط برای یک استفاده معین، کاربرد ندارد.

یادآوری ۱- مقادیر اندازه‌گیری شده مشخصه‌های الکتریکی در بیشتر موارد به نوع و خواص اتصالات میان نانولوله‌ها بستگی دارد. این مقادیر به اینکه چه تعداد از لوله‌ها اندازه‌گیری می‌شوند نیز بستگی دارند. این مشخصات باید در جایی که مناسب باشد توضیح داده شوند.

یادآوری ۲- مشخصه‌های الکتریکی مذکور در جدول‌های ۴ تا ۶ با اندازه‌گیری‌هایی که روی نانولوله‌های کربنی تک‌جداره انجام می‌شوند، مرتبط هستند. اینکه چگونه لوله‌ها نمونه‌برداری شده‌اند و آیا در اندازه‌گیری مجموعه‌ای از مواد، نمونه مورد نظر نماینده‌ای ازتوزیع انواع نانولوله‌ها است، باید به صورت مستند در گزارش آورده شوند.

یادآوری ۳- برای کسب اطلاعات بیشتر درباره مشخصه‌های الکتریکی به مراجع شماره [۳] تا [۸] مراجعه شود.

جدول۴- قالبی برای مشخصه‌های الکتریکی

مورد		ویژگی	CNT تکی یا بهری [1] از CNT یا هر دو	روش تعیین شده	سایر روش‌های اندازه-گیری
۱-۴	نوع رسانایی	[ ] درصد فلزی [ ] گاف انرژی پهن نوع ۱ [ ] گاف انرژی باریک نوع ۲	بهر	استاندارد ملی شمارهٔ ۱۴۷۴۳	EFM; SGM; STM; STS
1- Batch					

جدول ۵ - قالبی برای مشخصه‌های الکتریکی CNT های تک‌جدارهٔ فلزی

مورد		ویژگی	CNT تکی یا بهری از CNT یا هر دو	روش تعیین شده	سایر روش‌های اندازه‌گیری
۱-۵	مقاومت ویژه	[ ] ± x% Ω.m (در 20°C); [ ]رواداری[1] ± [ ] اسمی Ω.m	هر دو	IEC 62624	EFM; SGM; STM; ST
۲-۵	بیشینه چگالی جریان	[ ] ± x% A/m^2 ; [ ] رواداری ± [ ] اسمی A/m^2	هر دو	IEC 62624	EFM; SGM; STM; STS
1- Tolerance					

جدول ۶ - قالبی برای مشخصه‌های الکتریکی CNTهای تک‌جدارهٔ نیمه‌رسانا

مورد		ویژگی	CNT تکی یا بهری از CNT یا هر دو	روش تعیین شده	سایر روش‌های اندازه‌گیری
۶-۱	قابلیت تحرک	[ ] ± x% m^2/Vs; [ ] رواداری ± [ ] اسمی m^2/Vs	هر دو	بیان شود، فعلا پیشنهادی در این زمینه وجود ندارد	
۶-۲	گاف انرژی بین ترازهای پر و خالی از الکترون	رواداری ± [ ] اسمی= Eg [ ] eV	CNT تکی	بیان شود، فعلا پیشنهادی در این زمینه وجود ندارد	
۶-۳	نوع حامل	[ ] n [ ] p	CNT تکی	بیان شود، فعلا پیشنهادی در این زمینه وجود ندارد	
۶-۴	غلظت دوپ-شونده[1]	[ ] رواداری ± [ ] اسمی m^{-3}	هردو	بیان شود، فعلا پیشنهادی در این زمینه وجود ندارد	
۶-۵	سایر مشخصه-های الکتریکی (در صورت نیاز)				

1- Dopant

۳-۲-۷ مشخصه‌های نوری

آن دسته از مشخصه‌های نوری که با جزئیات در جدول ۷ آمده است، باید میان ذینفعان مورد توافق باشند. این استاندارد در مورد خصوصیات و مشخصات غیرمرتبط برای یک استفاده معین، کاربرد ندارد.

جدول۷- قالبی برای مشخصه‌های نوری

مورد		ویژگی	CNT تکی یا بهری از CNT یا هر دو	روش تعیین شده	سایر روش‌های اندازه‌گیری
۱-۷	طیف جذب	باید تعیین شود	هر دو	طیف جذب نوری	
۲-۷	سایر (در صورت نیاز)				

۷-۲-۴ مشخصه‌های مکانیکی و ابعادی

آن دسته از مشخصه‌های مکانیکی و ابعادی که با جزئیات در جدول ۸ آمده است، باید میان ذینفعان مورد توافق باشند. این استاندارد در مورد خصوصیات و مشخصات غیرمرتبط برای یک استفاده معین، کاربرد ندارد.

جدول ۸- قالبی برای مشخصه‌های مکانیکی و ابعادی

مورد		ویژگی	CNT تکی یا بهری از CNT یا هر دو	روش تعیین شده	سایر روش های اندازه گیری
۱-۸	مدول یانگ	[ ] رواداری ± [ ] اسمی Pa	CNT تکی	بیان شود، فعلا پیشنهادی در این زمینه وجود ندارد	
۲-۸	بیشینه استحکام کششی	[ ] رواداری ± [ ] اسمی Pa	CNT تکی	بیان شود، فعلا پیشنهادی در این زمینه وجود ندارد	
۳-۸	رسانایی حرارتی	[ ] ± x% W/mK; [ ] رواداری ± [ ] اسمی W/mK	هردو	STHM	AFM
۴-۸	مساحت سطح ویژه	[ ] رواداری ± [ ] اسمی m^2/g	بهر	BET	XPM

۸ مروری بر روش‌های آزمون

عمده‌ترین روش‌های مورد استفاده TGA, SEM, TEM, Raman و طیف‌بینی UV-vis-NIR است. روش AFM و دیگر روش های SPM نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

روش TGA به طور کمی، مقدار مواد کربنی و غیرکربنی در یک نمونهٔ توده[1] را تعیین می‌کند. روش TGA همگنی و پایداری حرارتی نانولوله که شاخص خوبی برای کیفیت نانولوله است را نیز بیان می‌کند.

تصاویر SEM، می‌تواند معیاری غیردقیق از کیفیت را ارائه کند، در حالی که تصاویر TEM با قدرت تفکیک بالاتر ساختار سطح هر لوله منفرد را نشان می‌دهد و می‌تواند ناخالصی‌های فلزی و کربنی غیرلوله‌ای را شناسایی کند.

طیف‌بینی رامان آزمونی سریع برای تعیین مقدار نانولوله‌های کربنی تک‌جداره است. همچنین این طیف‌بینی می‌تواند به طور کیفی مقدار کربن را برآورد کند، نوع نانولولهٔ موجود را تشخیص دهد و داده‌های SEM و TEM را تایید کند. SEM و TEM به دلیل ماهیت میکروسکوپیکی، برای مواد ناهمگن فقط می توانند نمونه بسیار کمی را مشخصه‌یابی کنند،که شاید برای مواد ناهمگن نماینده‌ای از کل ماده نباشد.

طیف‌بینی UV-vis-NIR می‌تواند برای مشخصه‌یابی کربن موجود در یک نمونه و هم‌چنین برای شناسایی نانولوله‌های کربنی تک‌جداره منفرد و بسته‌های[2] نانولوله‌های کربنی تک‌جداره استفاده شود.

برای تجزیه و تحلیل کیفی نمونه حاوی نانولوله‌های کربنی تک‌جداره، باید از SEM و TEM استفاده شود. تصویری از TEM که نشان دهندهٔ وجود مقدار قابل ملاحظه‌ای از نانولوله‌های تک‌جداره است، معیار مهمی در تعیین کیفیت مواد به شمار می‌رود. توصیه می‌شود روشی که توسط آن تصاویر TEM و SEM انتخاب می-شوند، مشخص شود. برای تخمین کمی، ترکیبی از روش های TGA، Raman و NIR پیشنهاد می‌شود.

روش‌های PL و TG-MS می تواند برای تعیین مشخصات SWCNTs استفاده شود.

برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی استفاده از استاندارد IEC 62624:2009 پیشنهاد می‌شود.

1- Bulk
2- Bundle

جدول ۹- خلاصه‌ای از روش‌های آزمون

خصوصیت/ دسته‌بندی	روش						
	TG-MS	**TGA**	**NIR-PL/ Fluorescence**	**UV-vis-NIR Absorption**	**Raman Spectroscopy**	**TEM**	**SEM/EDX**
ریخت‌شناسی						ساختار جداره، کربن آمورف، پوشش‌های کاتالیست فلزی	ساختار لوله، بسته، ضخامت، جهت‌گیری
خلوص	مقدار مواد غیر کربنی(کمی)	مقدار مواد غیر کربنی(کمی) مقدار کربن غیرنانولوله‌ای (کمی)		مقدار کربن (کمی)	نانولوله‌کربنی و دیگر ساختارهای کربنی	تمیزی سطح لوله	ناخالصی‌های غیر کربنی
طول و قطر			قطر	قطر	قطر	قطر لوله، اندازه خوشه فلزی	طول و قطر
نوع لوله			کایرالیتی (نیمه-رسانا)	فلزی/ نیمه‌رسانا	فلزی/ نیمه‌رسانا		
قابلیت پخش / قابلیت انحلال			بسته‌ای بودن لوله [1]	بسته‌ای بودن لوله‌ها یا جدایی آنها (پخش)			بسته‌ای بودن لوله
دیگر موارد	دمای اکسایش/ دمای گذار	دمای اکسایش/ دمای گذار					

1- Tube bundling

پیوست

(اطلاعاتی)

کتابنامه

[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. 1938, Vol. 60, pp. 309

[3] THESS, A. et al., *Crystalline Ropes of Metallic Carbon Nanotubes*, Science, 1996, Vol. 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, Vol. 29, pp. 272 – 275.

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

[7] FUHRER, Michael, PARK, Hongkun and McEUEN, Paul L., *Single-Walled Carbon Nanotube Electronics*, IEEE Trans. on Nanotech, 2002, Vol. 1, pp. 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, Vol. 4, pp. 517-520.

[9] ISO/TS 80004-1, Nanotechnologies – Vocabulary – Part 1: Core terms

[10] ISO/TS 80004-3, Nanotechnologies – Vocabulary – Part 3: Carbon nano-objects