INSO
15384
1st. Edition
2018

Identical with
IEC/IEEE
62659:2015

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۱۵۳۸۴
چاپ اول
۱۳۹۶

نانو ساخت- ساخت در مقیاس انبوه در حوزه نانو الکترونیک

Nanomanufacturing – Large scale manufacturing for nanoelectronics

ICS 07.030; 25.020; 07.120

استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۳۸۴(چاپ اول):سال ۱۳۹۶

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران،ضلع جنوب‌غربی میدان ونک،خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن:۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱(۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴(۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.org

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.2592Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.org.ir

Website:http://www.isiri. gov.org

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳قانون اصلاح قوانین ومقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه۱۳۷۱تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفهٔتعیین، تدوین ونشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی 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 واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد(ISO)[1]،کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی(OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی(CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهایملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباریکند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. هم چنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهیسامانه‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، 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 for Legal Metrology (OrganisationInternationale de MetrologieLegals)
4-Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« نانو ساخت- ساخت در مقیاس انبوه در حوزه نانو الکترونیک»

رئیس :	**سمت و/ یا محل اشتغال**
زهرا کاوه وش (دکتری مهندسی برق)	دانشگاه صنعتی شریف- دانشکده برق و کامپیوتر
دبیر :	
علی رضا نیک فرجام (دکتری مهندسی برق)	دانشگاه تهران- دانشکده علوم و فنون نوین
اعضاء : (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
امین چوخاچی زاده مقدم (کارشناسی ارشد نانو فناوری)	ستاد ویژه توسعه فناوری نانو
محمدرضا حاج میرزا حیدرعلی (دکتری نانو الکترونیک)	شرکت رشد نانوفناوران
فاطمه راضی آستارائی (دکتری فیزیک)	دانشگاه تهران- دانشکده علوم و فنون نوین
شیما رجبی (کارشناسی ارشد مهندسی برق-الکترونیک)	ستاد ویژه توسعه فناوری نانو
رقیه قاسمپور (دکتری نانو فناوری)	دانشگاه تهران- دانشکده علوم و فنون نوین
ویراستار	
نوربخش، رویا (کارشناسی ارشد سم شناسی)	پژوهشگاه استاندارد – پژوهشکده غذایی و کشاورزی- گروه پژوهشی بیولوژی

فهرست مندرجات

عنوان		صفحه
پیش گفتار		ج
مقدمه		ح
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۱
۳	اصطلاحات و تعاریف	۲
۴	سرواژه ها	۵
۵	مشارکت نانومواد در ساخت افزاره‌های الکترونیکی	۵
۶	مشکلات ایمنی و زیست محیطی	۱۰
کتاب نامه		۱۱

پیش گفتار

استاندارد «نانو ساخت- ساخت در مقیاس انبوه در حوزه نانو الکترونیک» که پیش‌نویس آن در کمیسیون-های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تهیه و تدوین شده، در پنجاه و نهمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد فناوری نانو مورخ ۹۶/۱۲/۱۵ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم وخدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی/منطقه‌ای زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی/منطقه‌ای مزبور است:

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

IEC/IEEE 62659 :2015 Nanomanufacturing – Large scale manufacturing for nanoelectronics.

مقدمه

به منظور بهره مندی کامل از مزایای هزینه کم، عملکرد بهتر و انعطاف پذیری محصولات الکترونیکی جدید تولید شده در مقیاس وسیع، صنایعی که مرتبط با فروش، استفاده و مهندسی مواد می‌باشند، باید در راستای پذیرش روش‌های جدید در حوزه نانو ارتقاء یابند. هدف از تدوین این استاندارد ایجاد زمینه‌ای برای پذیرش سریع و کم خطر نانومواد در تولید محصولات الکترونیک در مقیاس انبوه می‌باشد. علاوه بر این بهترین مجموعه از روش‌های رایج برای استفاده سازندگان نیم‌رسانا بیان خواهد شد.

ویژگی‌های نانومواد مورد استفاده در فرآیندهای الکترونیکی می‌توانند از جنبه‌های ترکیب (ماده)، چگالی، خلوص، اندازه/ابعاد، خواص مانند ویژگی‌های الکتریکی (رسانایی، غیر رسانایی و نیم‌رسانایی)، محیط‌های وابسته (محیط انتقال)، ساخت، عامل دار کردن سطح، توزیع اندازه ذرات، مساحت سطح، شکل، میزان تجمع، کلوخه شدن و غیره توصیف شوند.

هم چنین این استانداردهای مشخصه یابی نانومواد، فرصتی برای اطمینان از ثبات در مقیاس بندی و روش‌های اندازه گیری در تعیین ویژگی یا تولید نانومواد برای کاربردهای الکترونیکی را فراهم می‌کنند. این امر زمانی که چندین تامین کننده یا شرکای فناوری دخیل باشند، اهمیت پیدا می‌کند.

نانو ساخت-ساخت در مقیاس انبوه در حوزه نانو الکترونیک

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین الزامات برای تولید نانوالکترونیک در مقیاس انبوه، و حجم زیاد تولید به وسیله امکانات ساخت نیم‌رسانا از طریق استفاده از نانومواد (مانند نانولوله‌های کربن، گرافن، نقاط کوانتومی و غیره) می‌باشد.

از آنجائی که امکانات ساخت نیم‌رسانا نیازمند استفاده از روش هایی با حفظ راندمان تولید بالا است، برای نحوه ساخت، الزامات بسیار سخت‌گیرانه وجود دارد. نانومواد به عنوان یک آلودگی بالقوه در امکانات ساخت نیم‌رسانا حضور دارند، لذا لازم است به شیوه‌ای روشمند و ساختاریافته در امکانات و تجهیزات ساخت به کار گرفته شوند.

این استاندارد، برای فراهم کردن مراحل به کار گرفته برای تسهیل ورود نانومواد در امکانات ساخت نیم‌رسانا کاربرد دارد. ترتیب این مراحل تحت عنوان زمینه‌های مختلف: تأمین مواد خام، فرآوری مواد، طراحی و ساخت مدارهای مجتمع، آزمایش و استفاده نهائی تشریح می‌شود. این فعالیت ها، مراحل اصلی زنجیره تامین امکانات ساخت نیم‌رسانا را نشان می‌دهد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی به آنها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب 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 تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد استاندارد الزامی است:

۲-۱- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲-۱۹۰۹۳،" فناوری نانو-ویژگیهای مواد -قسمت ۲-۱-نانو لوله‌های کربنی تک جداره -ویژگیهای تفصیلی"

2-2- IEC 62624:2009, Test methods for measurement of electrical properties of carbon nanotubes

2-3- ANSI/IEEE 1650-2005 - IEEE Standard Test Methods for Measurement of Electrical Properties of Carbon Nanotubes

۳ اصطلاحات و تعاریف، نماد ها، سرواژه‌ها و کوته نوشت ها

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف، سرواژه‌ها و کوته نوشت‌های زیر به کار می‌رود.

۳-۱

نانومقیاس

nanoscale

گستره اندازه بین تقریباً ۱ نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر است.

یادآوری ۱- خواصی را که از اندازه‌های بزرگتر برون یابی نمی‌شوند، غالباً در این گستره اندازه نشان داده می‌شوند. برای این خواص محدوده‌های اندازه به صورت تقریبی در نظر گرفته می‌شوند.

یادآوری ۲- حد پایین در این تعریف (حدود ۱ نانومتر) برای جلوگیری از تخصیص اتمهای تکی و گروه‌های کوچک اتمی به عنوان نانو شیئ یا عناصر نانوساختار که ممکن است به دلیل فقدان یک حد پایین باشد، تعریف می‌شود.

{استاندارد ملی ایران-ایزو ۱-۸۰۰۰۴ چاپ اول ۱۳۹۵}

۳-۲

نانوفناوری

nanotechnology

استفاده از دانسته‌های علمی در دست کاری و کنترل ماده، غالباً در نانو مقیاس (طبق زیربند ۳-۱) برای بهره برداری از پدیده‌ها و خواص وابسته به ساختار و اندازه است. این خواص متمایز، با خواص اتم‌ها و مولکول‌های منفرد و غیر قابل برون یابی (استنتاج) از شکل توده همان ماده هستند.

یادآوری - دستکاری و کنترل شامل سنتز مواد هم می‌شود.

{استاندارد ملی ایران-ایزو ۱-۸۰۰۰۴ چاپ اول ۱۳۹۵}

۳-۳

نانوالکترونیک

nanoelectronics

حوزه‌ای از علم و فناوری که به توسعه و تولید قطعات الکترونیکی کارکردی با اجزائی در مقیاس نانو می‌پردازد.

{استاندارد ملی ایران-ایزو ۱۲-۸۰۰۰۴ چاپ اول ۱۳۹۵}

۳-۴

نانوساخت

nanomanufacturing

سنتز هدفمند، ایجاد و یا کنترل نانو مواد (طبق زیربند ۳-۶)، و یا گام‌های ساخت در نانو مقیاس (طبق زیربند۳-۱) به منظور دستیابی به اهداف تجاری است.

{استاندارد ملی ایران-ایزو ۱-۸۰۰۰۴ چاپ اول ۱۳۹۵}

۳-۴-۱

نانو ساخت پایین به بالا

down-top nanomanufacturing

فرایندهایی است، که طی آن از واحدهای پایه‌ای کوچک برای ایجاد ساختارها یا مجموعه‌های بزرگتر با عملکرد ارتقاء یافته استفاده می‌شود.

۳-۴-۲

نانو ساخت ترکیبی

combined nanomanufacturing

ترکیبی از فرآیند کنترل شده افزایشی یا کاهشی برای ایجاد هدفمند یک ساختار نانو مقیاس می‌باشد.

۳-۴-۳

نانو ساخت بالا به پائین

top- down nanomanufacturing

فرایندهایی که در آن ساختارهای نانو مقیاس را از ساختارهای ابعاد ماکروسکوپی ایجاد می‌کنند.

۳-۵

فرآیند نانو ساخت

nanomanufacturing process

مجموعه‌ای از فعالیت‌ها به منظور سنتز هدفمند، ساخت و یا کنترل نانو مواد (طبق زیربند ۳-۶) و یا مراحل ساخت در نانو مقیاس (طبق زیربند ۳ -۱) برای اهداف تجاری است.

{استاندارد ملی ایران-ایزو ۱-۸۰۰۰۴ چاپ اول ۱۳۹۵}

۳-۶

نانوماده

nanomaterial

ماده‌ای که هر بعد خارجی آن نانو مقیاس(طبق زیربند ۳-۱) است یا ساختار داخلی یا ساختار سطحی آن نانو مقیاس است.

یادآوری – این اصطلاح عمومی شامل نانو شیء و ماده نانوساختار است.

{استاندارد ملی ایران-ایزو ۱-۸۰۰۰۴ چاپ اول ۱۳۹۵}

۳-۷

نانو شیء

nano-object

هر قطعه مجزا از ماده با یک، دو و یا سه بعد خارجی در نانو مقیاس (طبق زیربند ۳-۱) است.

یادآوری – اصطلاح عمومی برای تمام اشیاء نانو گسسته می‌باشد.

{استاندارد ملی ایران-ایزو ۱-۸۰۰۰۴ چاپ اول ۱۳۹۵}

۳-۸

نانوساختار

nanostructure

ترکیبی از اجزای تشکیل دهنده مرتبط با هم که یک یا بیشتر از یک جزء آنها در محدوده نانو مقیاس (طبق زیربند ۳-۱) قرار دارند.

یادآوری - یک ناحیه به صورت یک مرز مشخص شده از ناپیوستگی در خواص تعریف می‌شود.

{استاندارد ملی ایران-ایزو ۱-۸۰۰۰۴ چاپ اول ۱۳۹۵}

۳-۹

نانولیف

nano - fiber

نانوشیء (طبق زیربند۳-۷) با دو بعد خارجی مشابه در مقیاس نانو (طبق زیربند۳-۱) و سومین بعد که به طور قابل توجهی بزرگتر است.

یادآوری ۱-نانوفیبر می‌تواند انعطاف پذیر و یا سخت باشد.

یادآوری ۲ - دو بعد خارجی مشابه طوری در نظر گرفته شده اند که اندازه آنها کمتر از سه برابر تفاوت داشته باشد و بعد خارجی بزرگ آن به طور قابل توجهی از سه برابر دو بعد دیگر بزرگتر است.

یادآوری ۳- بزرگترین بعد خارجی لزوماً در مقیاس نانو نیست.

{منبع: ISO/TS 27687:2008, 4.3 }

۳-۱۰

نانوذره

nanoparticle

نانو شیء (طبق زیر بند۳-۷) با تمام سه بعد خارجی در ابعاد نانو (طبق زیربند ۳-۱)

یادآوری - اگر نسبت طولانی ترین به کوتاه ترین محورهای نانو شیء به طور قابل توجهی (به طور معمول بیش از سه برابر) متفاوت باشد، اصطلاح نانوفیبر یا نانوصفحه به جای نانو ذره استفاده می‌شود.

{منبع: ISO/TS 27687:2008, 4.1 }

۳-۱۱

نانوسیم

nanowire

نانولیف نیم‌رسانا یا رسانای جریان الکتریکی (طبق زیربند۳-۹)

{منبع: ISO/TS 27687:2008, 4.6 }

۳-۱۲

نانو برگ

nanosheet

نانو فیلم خود ایستا است.

۳-۱۳

گرافن

graphene

یک لایه از اتم‌های کربن که هر اتم آن به سه اتم همسایه در یک ساختار لانه زنبوری متصل شده باشد.

یادآوری- این یک واحد ساختاری مهم در بسیاری از نانو اشیاء کربنی است.

{منبع: ISO/TS 80004-3:2010, 2.11 }

۳-۱۴

نانولوله

nanotube

نانولیف توخالی (طبق زیربند۳-۹)

{منبع: ISO/TS 27687:2008, 4.4 }

۳-۱۵

نانومیله

Nanorod

نانولیف توپر (طبق زیربند۳-۹)

{منبع: ISO/TS 27687:2008, 4.5 }

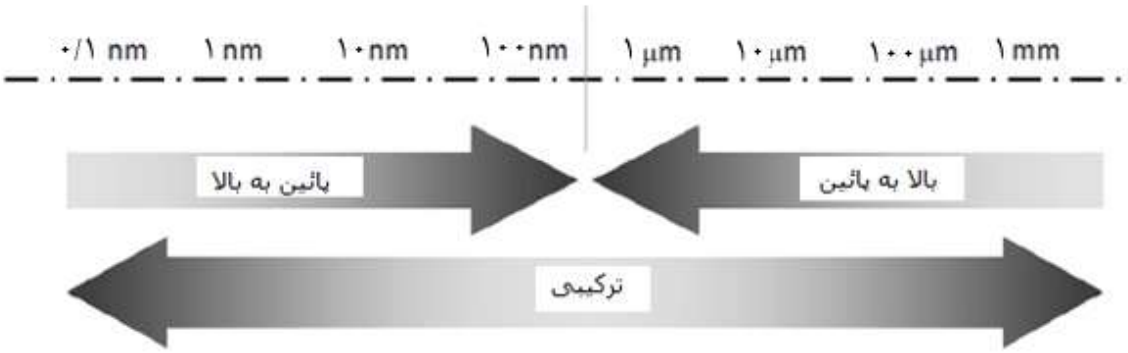
۴ سرواژه ها

CNT	Carbon Nano Tube	نانولوله کربنی
HDL	Hardware Discription Language	زبان توصیفی سخت افزار
ATE	Automated Test Equipment	تجهیزات آزمون خودکار

۵ مشارکت نانومواد در ساخت افزاره‌های الکترونیکی

۵-۱ کلیات

فرایندهای ساخت در حوزه نانو به سه روش کلی تولید شامل: ساخت نانو از پایین به بالا، ساخت از بالا به پائین و ترکیبی از این دو روش می‌باشند، که هر کدام از این سه روش ممکن است برحسب موقعیت ماده اولیه مطابق آن چه در شکل ۱ می‌بینید، استفاده شود.



شکل ۱ - رابطه بین فرآیندهای ساخت افزاره "پایین به بالا"، "بالا به پایین" و "ترکیبی" در نانوالکترونیک بر اساس محدوده‌های مختلف ابعادی

جداول ۱ و ۲ نمونه هایی از گردش کار برای ایجاد افزاره‌های نانوالکترونیک، در دو فرآیند معمول ساخت را نشان می‌دهند. برای به کار گیری نانومواد در ساخت افزاره‌های الکترونیکی ممکن است، از یک فرآیند ترکیبی استفاده شود، که در آن، برای ایجاد افزاره‌های نانوالکترونیک، ترکیبی از اجزاء هر دو فرایند به کار رفته باشد.

جدول ۱ - روش پایین به بالا در نانوالکترونیک

گردش کار	فرایند
تعریف الگوی مورد نظر با استفاده از فن لیتوگرافی	الگو مورد نظر در ابزار نرم افزاری کاشت دانه برای ایجاد موقعیت دانه ها، توسعه می‌یابد.
سطح عامل دار شده	لایه دانه[1]، روی زیر لایه ایجاد می‌شود.
رشد و تولید سطح عامل دار شده	الگوی مورد نظر، که توسط سطح عامل دار شده مشخص می‌شود، اجازه می‌دهد دانه‌ها رشد کرده و تجمیع شوند. به این ترتیب مواد خام افزودنی از سطوح عامل دار شده، رشد می‌یابند.
الگوی کامل شده	ساخت افزاره پایان یافته است.
پا نوشت: 1-Seed layer	

جدول ۲ - فرآیند بالا به پایین در نانوالکترونیک

گردش کار	فرایند
پوشش دهی ماده خام زیر لایه	ماده به زیر لایه اضافه می‌شود.
تعریف الگوی مورد نظر با استفاده از تکنیک نقش نگاری	الگوی مورد نظر توسعه می‌یابد.
الگوی زدایش شده	الگوی مورد نظر به وسیله فرآیند نقش نگاری توصیف شده و مواد اضافی به صورت انتخابی حذف می‌شوند. الگودهی و فرایند زدایش در صورت لزوم تکرار می‌گردد.
الگوی کامل شده	ساخت افزاره پایان یافته است.

گردش کاری برای به کار گیری نانومواد در فرایند ساخت افزاره‌های الکترونیکی، در جدول ۳، با مقایسه گردش کار افزاره‌های الکترونیکی پایه CNT با نیم‌رسانای اکسید فلز تکمیلی[1] (CMOS)، مشخص شده است.

جدول ۳ - مقایسه فرآیندهای CMOS با فرایند افزاره‌های الکترونیکی پایه CNT نمونه

گردش کار	الکترونیک پایه CNT	الکترونیک CMOS پایه Si
دستیابی به ماده خام	CNT در واحد گرم	شیلیت[a]/ ولفرامیت[b](سنگ معدن تنگستن) در واحد تن
فرآوری ماده	CNT در یک حلال آبی یک یا چهار لیتری	اهداف تنگستنی ۱۵۰ mm، ۲۰۰mm یا ۳۰۰mm برای لایه نشانی به روش کندوپاش
طراحی	جانمائی کاملا سفارشی	ریزپردازنده چند هسته‌ای ساخته شده بر اساس HDL؛
ساخت IC	فناوری CMOS ، ۰/۱۵µm	۴۵ nm CMOS، روی ویفر سیلیس(Si) ۲۰۰mm
آزمون	ایستگاه‌های کاوند آزمون نیم‌خودکار ویفر	تجهیزات آزمون خودکار (ATE) با ظرفیت بالا
مصرف نهائی	مدول ثبت داده حالت جامد	صفحه اصلی[c] به همراه مجموعه تراشه[d] برای رایانه کتابی[e]

پا نوشت:

a- Sheelite

b-Wolframite

c-Main Board

d-Chipset

e-notebook

[1] Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS)

مراحل اصلی که برای حرکت از نقطه ابتدایی تا محصول باید شفاف شوند، عبارتند از: مواد خام، مواد فرآوری شده، فرایندهای ساخت مدار مجتمع (IC)، طراحی، آزمایش و سامانه‌های کاربری نهایی. هر مرحله دارای الزامات و عملکرد خاصی است، که به الزامات سامانه کاربری نهایی وابسته است. این استاندارد چارچوبی را برای شفاف سازی رویکردهای عمومی به منظور توصیف این سامانه‌ها با هدف هماهنگی با دیگر فعالیت‌های استاندارد، هنگامی که یک موضوع یا روش مشترک دارند را فراهم می‌کند.

۲-۵ دستیابی به مواد خام

مواد اولیه مورد استفاده در نانوالکترونیک در مقیاس انبوه به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شوند: نانوذرات، نانوسیم ها، نانولوله‌ها و نانوبرگ ها. مواد اولیه ممکن است شامل نانومواد بدون بعد، نانومواد یک بعدی، نانومواد دو بعدی، یا نانومواد سه بعدی باشند که می‌توانند به صورت مجزا یا در ترکیب با مواد دیگر یا به صورت مخلوطی از مواد مختلف، ساخته شوند. نانولوله‌ها به علت ماهیت توخالی بودن یک ساختار لوله‌ای در مقایسه با ساختار پیوسته سیم، از نانوسیم‌ها متمایز می‌شوند. استانداردهای بین المللی مختلف IEC و IEEE مانند: استاندارد بین المللی IEC 62624:2009 ، استاندارد بین المللی-ANSI/IEEE 1650 2005و استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲-۱۹۰۹۳، بر تشریح جنبه‌های مختلف تولید و توصیف نانولوله‌ها تمرکز کرده اند. این استانداردها به عنوان مراجع این کار، استفاده خواهند شد.

بعضی از ویژگی‌های کلیدی برای شناخت نانولوله‌های کربنی عبارت از منبع مورد استفاده در فرایند رشد، شرایط رشد شامل: کنترل گاز، کنترل دما، انتخاب و کنترل زیر لایه، کنترل قطر (و دست وارگی[1])، کنترل طول، عامل دار کردن سطح، اندازه گیری آلودگی ناشی از کاتالیزورها نانولوله‌ها و هم چنین آلودگی به کربن اضافی است. این جزئیات در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲-۱۹۰۹۳ نوشته شده است.

روش‌های سنتز نانوذرات، بسیار متنوع هستند. در این روش‌ها تمرکز بر روی ناپراکندگی[2]، کنترل ترکیب، عامل دار کردن سطح و آلودگی است.

روش‌های سنتز نانوسیم‌ها روی غلظت گاز، کنترل دما، انتخاب زیر لایه، کنترل قطر، کنترل طول، عامل دار کردن سطح و آلودگی تمرکز دارد. همه این روش‌های تولید مواد اولیه، نیاز به بررسی دقیق شرایط ایمنی در طول فرایند رشد، ایمنی برداشت و دستکاری و پایش جریان پسماند دارد. استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲-۱۹۰۹۳ مدلی برای تعیین جزئیات اولیه نانوسیم‌های بعدی می‌باشد.

در مورد نانو صفحه ها، سنتز بر ارائه لایه تک اتمی از اتم‌های کربن و برهم نهی مشخص از یک یا چند لایه متمرکز است. رشد کنترل شده بر روش هایی متمرکز است، که غلظت گاز، کنترل دما، انتخاب زیر لایه و آلودگی را مشخص می‌کنند.

[1] Chirality
[2] Monodispersity

۵-۳ فرآوری مواد

مفهوم فرآوری نانومواد برای استفاده در CMOS نسبتاً جدید است. در حقیقت، نانومواد می‌توانند به طور مستقیم بر روی زیر لایه ها، بدون خالص سازی قابل توجهی رشد کرده یا خود آرایه شوند. در صورتی که رشد مستقیم ارجحیت نداشته باشد، باید با روش مناسبی محلول هائی از نانومواد مورد نیاز، برای استفاده در CMOS تهیه شوند. تراکم/توزیع نانولوله‌ها در محلول، بستگی به اندازه، خلوص وکارایی دارد. باید به موضوع حذف آلاینده ها، به ویژه فلزات مانند آهن، نیکل و کبالت توجه ویژه کرد. دسته بندی نانو مواد، چه از لحاظ قطر در مورد نانولوله‌ها یا نانوسیم‌ها و چه از نظر ناپراکندگی در مورد نانوذرات، شرط لازمی برای پیشبرد کار در محیط ساخت است. مسائلی که باید در ارتباط با جریان‌های پسماند شامل پسماندهای فرایند خالص سازی، حلال‌ها و دستورالعمل‌های تمیز کاری مورد توجه قرار گیرند، دارای اهمیت می‌باشند. فرایندها باید مطابق با مقررات زیست محیطی کاربردی باشند.

۵-۴ طراحی

استفاده از نانومواد در صورت امکان برای طراحی استاندارد، مانند آنچه در استانداردهای مدارهای مجتمع به کار می‌روند، مناسب است. با پیشرفت‌های تئوری و تجربی که سبب درک دقیق‌تری از این ویژگی‌ها می‌شود، طراحی افزاره‌های نانومقیاس که دارای اثرات کوانتومی می‌باشند، در حال توسعه است.

۵-۵ ساخت

فرایندهای ساخت با استفاده از نانومواد در حال تکامل هستند. برای ساخت افزاره‌ها حتی با نانومواد خالص و یا فرآوری شده، باید توجه داشت که مطابق با دستورالعمل ها، پروتکل‌ها و روش‌های استاندارد معمول صنایع نیم‌رسانا عمل شود. توجه ویژه به تمیزی، دفع پسماند و فرآوری متعاقب آن و پیروی از روش‌ها و استانداردهای تعیین شده صنعتی، از جمله مواردضروری هستند که در استانداردهای ملی سری ۶۲۵۲ و ۸۰۸۹ (از سری استانداردهای اتاق تمیز) تشریح شده است.

برای مثال، کار کردن ویفرها با استفاده از ربات‌های مدرن یک ضرورت است و تنها زمانی می‌توان این کار را انجام داد که مطمئن باشیم زیر لایه‌ها تا حدی تمیز هستند که نگه دارنده‌های ربات‌های مدرن را آلوده نمی‌کنند. سایر فرایندهای ساخت مانند لایه نشانی، الگودهی و لایه برداری نیاز به مطابقت با فرآیندهای استاندارد را دارند. باید دقت کرد که نانومواد نه تخریب شوند و نه به عنوان آلاینده عمل کنند.

۵-۶ آزمون

هر گاه امکان استفاده از نانومواد باشد، روش‌های آزمون مانند آن چه برای مدارهای مجتمع انجام می‌شود، مناسب است. در بسیاری از موارد، آزمون عملکردی افزاره‌ها و نانوساختارها با استفاده از روش‌های موجود قابل انجام است. آزمون افزاره‌های نانومقیاس که از اثرات کوانتومی بهره می‌برند، هم چنان که پیشرفت‌های تئوری و تجربی درک دقیق تری از این ویژگی‌ها را فراهم می‌کنند، درحال توسعه هستند. قابلیت‌های اندازه

گیری نانومقیاس، همراه با نقش نگاری نانومقیاس درحال حاضردرحال توسعه است و در بسیاری از موارد این روش‌ها برای سایر نانوساختارها مناسب می‌باشند.

۷-۵ گام نهایی[1]

ورودی‌ها و خروجی‌های نانوالکترونیک باید با محدوده‌های معمول استاندارد در صنعت الکترونیک، مطابقت داشته باشد. به طورکلی باید از پروتکل‌ها و استانداردهای مختلفی که درحال حاضر موجود هستند، استفاده کرد. در خصوص جریان پسماند و عناصر روبه انقضاء، توصیه می‌شود الزامات مشابه دراستاندارد مدارهای مجتمع را رعایت کرد.

۶ مشکلات ایمنی و زیست محیطی

ایمنی نانومواد و کارکردن ایمن با آن‌ها مانند موضوع کارکردن ایمن و فرآوری/انهدام مواد خطرناک قطعاً از مسائل این فناوری نوین بوده و از ملاحظات مهمی در فرایندهای نیم‌رسانای فعلی محسوب می‌شوند. استانداردها و مقررات درحال حاضر در حال تدوین هستند و در بعضی موارد ممکن است هنوز شناسایی نشده باشند. اقدامات ایمنی احتیاطی تا زمانی که استانداردهای مشخصی در این رابطه تدوین نشده است، همواره باید طبق این استاندارد ملی باشد.

[1] End-use

کتابنامه

[1] IEC PAS 62565-2-1, *Nanomanufacturing – Material specifications – Part 2-1: Single-wall carbon nanotubes – Blank detail specification*
[2] IEC 62624/IEEE Std 1650™, *Test methods for measurement of electrical properties of carbonnanotubes*
[3] ISO 14644-1, *Cleanrooms and associated controlled environments – Part 1: Classification of air cleanliness*
[4] ISO 14644-2, *Cleanrooms and associated controlled environments – Part 2: Specifications for testing and monitoring to prove continued compliance with ISO 14644-1*
[5] ISO 14644-3, *Cleanrooms and associated controlled environments – Part 3: Test methods*
[6] ISO 14644-4, *Cleanrooms and associated controlled environments – Part 4: Design, construction and start-up*
[7] ISO 14644-5, *Cleanrooms and associated controlled environments – Part 5: Operations*
[8] ISO 14644-6, *Cleanrooms and associated controlled environments – Part 6: Vocabulary*
[9] ISO 14644-7, *Cleanrooms and associated controlled environments – Part 7: Separative devices (clean air hoods, gloveboxes, isolators and mini-environments)*
[10] ISO 14644-8, *Cleanrooms and associated controlled environments – Part 8: Classification of air cleanliness by chemical concentration (ACC)*
[11] ISO 14698-1, *Cleanrooms and associated controlled environments – Biocontamination control – Part 1: General principles and methods*
[12] ISO 14698-2, *Cleanrooms and associated controlled environments – Biocontamination control – Part 2: Evaluation and interpretation of biocontamination data*
[13] ISO/TS 27687:2008, *Nanotechnologies – Terminology and definitions for nano-objects – Nanoparticle, nanofibre and nanoplate*
[14] ISO/TS 80004-1:2010, *Nanotechnologies – Vocabulary – Part 1: Core terms*
[15] ISO/TS 80004-3, *Nanotechnologies – Vocabulary – Part 3: Carbon nano-objects*