



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۵۵۰۸

چاپ اول

۱۳۹۶

INSO
15508
1st Edition
2018

Identical with
ISO/TR
18401:2017

فناوری نانو- توضیح ساده اصطلاحات
انتخاب شده از مجموعه استانداردهای
ISO/IEC 80004

Nanotechnologies — Plain language
explanation of selected terms from the
ISO/IEC 80004 series

ICS: 01.040.07;07.120



دارای محتوای رنگی

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران - ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۱۰۳ و ۸۸۸۸۷۰۸۰

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr 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.gov.ir

Website: <http://www.isiri.gov.ir>

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه 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.

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 منصفانه 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 پیشنهادهای در کمیته ملی 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 در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته 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)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی 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، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های 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، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی 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 (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
 - 4- Contact point
 - 5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« فناوری نانو - توضیح ساده اصطلاحات انتخاب شده از مجموعه استانداردهای

«ISO/IEC 80004

رئیس:

سرگزی، قاسم
(کارشناسی ارشد فناوری نانو - نانوشیمی)

سمت و/یا محل اشتغال:

دبیر آموزش و پرورش استان کرمان

دبیر:

مقدم منش، محمدرضا
(کارشناسی ارشد شیمی آلی)

کارشناس امور استاندارد اداره کل استاندارد سیستان و بلوچستان

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

اسلامی پور، الهه
(کارشناسی ارشد زیست شناسی)

کارشناس کمیته استاندارد و ایمنی ستاد فناوری نانو

افضلی، داریوش
(دکتری شیمی تجزیه)

معاون آموزشی و پژوهشی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و
فناوری پیشرفته کرمان

پورجوادی، علی
(دکتری شیمی)

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف

پوی پوی، حسن
(کارشناسی ارشد شیمی)

دبیر کمیته استاندارد سازی - ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

حسین زادگان، سارا
(کارشناسی ارشد شیمی آلی)

کارشناس مستقل

خیاطی، غلامرضا
(دکتری مواد)

عضو هیئت علمی دانشگاه باهنر کرمان

رحیمی، اعظم
(دکتری شیمی)

عضو هیئت علمی پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران و عضو
تخصصی گروه شیمی فرهنگستان زبان و ادب فارسی

سراوانی، حمیده
(دکتری شیمی معدنی)

عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان

عطائی فر، سجاد
(دانشجو کارشناسی ارشد شیمی آلی)

کارشناس امور استاندارد اداره کل استاندارد سیستان و بلوچستان

عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان

کیخوایی، مسعود
(دکتری شیمی تجزیه)

عضو هیئت علمی دانشگاه باهنر کرمان

مصطفوی، علی
(دکتری شیمی تجزیه)

عضو هیئت علمی دانشگاه زابل

میر، نوشین
(دکتری شیمی معدنی)

عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران - دانشکده
متالوژی

میرکازمی، سیدمحمد
(دکتری مواد)

ویراستار:

کارشناس استاندارد- نایب رئیس کمیته فنی متناظر فناوری نانو

سیفی، مهوش
(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ز	پیش‌گفتار
ح	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ اصطلاحات و تعاریف
۶	۴ اصطلاحات و توضیحات
۶	۴-۱ نانومقیاس، پدیده نانومقیاس
۸	۴-۲ فناوری نانو
۹	۴-۳ نانومواد
۹	۴-۳-۱ کلیات
۱۰	۴-۳-۲ نانواشیا
۱۲	۴-۳-۳ نانواشیاء، کلوخه‌ها و انبوهه‌ها
۱۴	۴-۳-۴ نانوپدید، نانوبهبود
۱۵	۴-۴ نانوچندسازه‌ها
۱۵	۴-۵ نانولایه‌ها، نانوپوشش‌ها و نانوفیلم‌ها
۱۷	کتاب‌نامه

پیش‌گفتار

استاندارد « فناوری نانو- توضیح ساده اصطلاحات انتخاب شده از مجموعه استانداردهای ISO/IEC 80004 که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در شصت و یکمین اجلاس کمیته ملی استاندارد فناوری نانو مورخ ۱۳۹۶/۱۲/۱۹ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده 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 شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، 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 مأخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO/TR 18401, 2017: Nanotechnologies — Plain language explanation of selected terms from the ISO/IEC 80004 series

مقدمه

افزایش استفاده از نانومواد در صنعت و جامعه، استفاده از آن‌ها و همچنین مزایا و ریسک آنها در طول چرخه زندگی، عناوین مهمی برای بحث هستند.

این استاندارد توضیحاتی (همراه با مثال‌هایی) در زمینه اصطلاحات انتخاب شده در فناوری نانو به منظور ایجاد سهولت درک مفهوم فناوری نانو و کاربردهای گوناگون آن ارائه می‌دهد.

هدف اساسی موارد زیر است:

الف- افزایش سازگاری و کاهش اشتباهات تفسیری اصطلاحات در میان مصرف‌کنندگان

ب- تسهیل ارتباطات و درک در تدوین یا کاربردهای تبلیغاتی فناوری نانو

این استاندارد شامل اصطلاحات کلیدی انتخاب شده است و تعاریف و توضیحاتی برای کمک به درک و به تصویرکشیدن مطالب مربوطه، ارائه می‌دهد. در صورت وجود، ارتباط بین یک اصطلاح با یک اصطلاح دیگر و استفاده عملی از مثال‌های کاربردی را بیان می‌کند.

برای ساده‌سازی مراجع، تعاریف سازمان ISO در صورت مناسب بودن در متن استاندارد تکرار می‌شوند. توضیحات و مثال‌ها به منظور پایه‌ریزی اصطلاحات انتخاب شده و منتشر شده در مجموعه استانداردهای ISO/IEC80004 است.

هنگامی که علوم جدیدی پیشرفت می‌کند، ابزار برای ارتباط با چنین دانشی از بررسی مستمر و تجدیدنظر اصطلاحات کلیدی ضروری-بهره‌مند خواهد بود. اصطلاحات جدیدی که در حال حاضر در مجموعه استانداردهای ISO/IEC80004 وجود ندارند به تدریج متداول خواهند شد. چنین اصطلاحاتی می‌توانند مترادف با اصطلاحات و تعاریفی باشند که در استانداردهای سازمان ISO یافت می‌شوند.

فناوری نانو - توضیح ساده اصطلاحات انتخاب شده از مجموعه استانداردهای ISO/IEC 80004

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه راهنمایی و کمک به ذی‌نفعانی است که تصمیم‌ساز هستند برای هدایت، مدیریت و کاربرد فناوری نانو برای درک بهتر اصطلاحات کلیدی و تعاریف فناوری نانو در مجموعه استانداردهای ISO/IEC80004.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مرجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵، فناوری نانو - واژه نامه - قسمت ۱: اصطلاحات کلی

۲-۲ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره ۲-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵، فناوری نانو - واژه نامه - قسمت ۲: نانوشیاء

۳-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۸۳۹۲: سال ۱۳۹۳، فناوری نانو - واژه نامه - قسمت ۴: مواد نانوساختار یافته

2-4 ISO/TS 80004-11, Nanotechnologies— Vocabulary— Part 11: Nanolayer, nanocoating, nanofilm, and related terms

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استانداردهای ملی ایران - ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴ و استاندارد ملی ایران - ایزو شماره ۲-۸۰۰۰۴، ISO/TS 80004-4، ISO/TS 80004-11، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود.

۱-۳

نانومقیاس

nano scale

گستره اندازه بین تقریباً ۱ nm تا ۱۰۰ nm است.

یادآوری - خواصی که از اندازه‌های بزرگتر استخراج می‌شوند، عمدتاً در این محدوده طولی نشان داده می‌شوند.

[منبع: زیربند ۱-۲ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

۲-۳

نانوپدیده

nano phenomenon

اثری که حاصل نانوایشیاء (۳-۶) یا وجود نواحی محدوده نانومقیاس (۳-۱) است.

[منبع: زیربند ۲-۱۳ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

۳-۳

فناوری نانو

nanotechnology

استفاده از دانسته‌های علمی در دست‌کاری و کنترل ماده، غالباً در نانومقیاس (۳-۱) برای بهره‌برداری از پدیده‌ها و خواص وابسته به ساختار و اندازه است. این خواص متمایز با خواص اتم‌ها و مولکول‌های منفرد و غیرقابل برون‌یابی (استنتاج) از شکل توده همان ماده هستند.

یادآوری - دست‌کاری و کنترل شامل سنتز مواد هم می‌شود.

[منبع: زیربند ۲-۳ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

۴-۳

نانوماده

nanomaterial

ماده‌ای که هر بعد خارجی آن نانومقیاس (۳-۱) است یا ساختار داخلی یا ساختار سطحی آن نانومقیاس است.

یادآوری - این اصطلاح عمومی شامل نانوشی و ماده نانساختار است.

[منبع: زیربند ۲-۴ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

۵-۳

نانوماده ساخته شده

manufactured nanomaterial

نانو ماده‌ای (۳-۴) که برای داشتن خواص یا ترکیبی خاص به‌طور هدفمند تهیه شده است.

[منبع: زیربند ۲-۹ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

۶-۳

نانوشی

nano-object

هر قطعه از ماده با یک، دو یا سه بعد خارجی در نانومقیاس (۳-۱) است.

یادآوری - ابعاد خارجی دوم و سوم عمود بر بعد اول و همچنین عمود بر یکدیگر هستند.

[منبع: زیربند ۲-۵ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

۷-۳

نانوذره

nanoparticle

نانوشی (۳-۶) با تمام ابعاد خارجی در مقیاس نانو که در آن طول بلندترین و کوتاهترین محورهای نانوشی به‌طور قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر تفاوت نداشته باشد.

یادآوری - چنانچه ابعاد به‌طور قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر تفاوت داشته باشند (معمولا بیشتر از سه برابر)، ممکن است اصطلاحاتی مانند نانولیف یا نانوصفحه بر نانوذره ترجیح داده شود.

[منبع: زیربند ۴-۴ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۲-۸۰۰۰۴]

۸-۳

کلوخه

agglomerate

مجموعه‌ای از ذرات که به شکلی ضعیف یا نسبتاً قوی به یکدیگر متصل شده‌اند، به طوری که مساحت سطح خارجی منتجه آنها مشابه مجموع مساحت سطوح تک تک اجزای تشکیل دهنده باشد.

یادآوری ۱- نیروهایی که کلوخه را نزدیک به یکدیگر نگه می‌دارد نیروهای ضعیفی هستند، مثلاً نیروهای وان دروالس یا درهم-تافتگی‌های فیزیکی ساده.

یادآوری ۲- کلوخه‌ها به عنوان ذرات ثانویه نیز در نظر گرفته می‌شوند و ذرات اصلی منشأ، ذرات نوع اول نامیده می‌شوند.

[منبع: زیربند ۳-۴ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۲-۸۰۰۰۴]

۹-۳

انبوهه

aggregate

ذره متشکل از ذراتی با پیوندهای قوی یا جوش خورده که مساحت سطح خارجی منتجه آنها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مجموع مساحت سطوح تک تک اجزای تشکیل دهنده باشد.

یادآوری ۱- نیروهایی که انبوهه را کنار یکدیگر نگه می‌دارند، نیروهای قوی هستند. مثلاً پیوندهای کووالانسی یا یونی و یا نتیجه جوش خوردن و گره‌خوردگی فیزیکی پیچیده یا در غیر این صورت، ذرات اولیه به هم چسبیده قبلی.

یادآوری ۲- انبوهه‌ها به عنوان ذرات ثانویه نیز در نظر گرفته می‌شوند و ذرات اصلی منشأ، ذرات اولیه نامیده می‌شوند.

[منبع: زیربند ۳-۵ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۲-۸۰۰۰۴]

۱۰-۳

نانوپدیده

nano-enabled

ظهور کارایی و یا عملکردی که فقط با فناوری نانو (۳-۳) امکان پذیر است.

[منبع: زیربند ۲-۱۵ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

۱۱-۳

نانوبهبود

nano-enhanced

ظهور کارایی و یا عملکردی که با استفاده از فناوری نانو (۳-۳) شدت یا بهبود یافته است.

[منبع: زیربند ۲-۱۶ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

۱۲-۳

نانوچندسازه

nanocomposite

جامدی شامل مخلوطی از دو یا چند ماده که از نظر فازی جدا شده‌اند و دارای یک یا چند نانوفاز (۳-۱۳) است.

یادآوری ۱- نانوفازهای گازی مستثنا می‌شوند (آنها زیر عنوان ماده نانو متخلخل مطرح می‌شوند).

یادآوری ۲- مواد با فازهای نانومقیاس که فقط به وسیله رسوبگیری تشکیل می‌شوند مواد نانوچندسازه بشمار نمی‌آیند.

[منبع: زیربند ۴-۲ استاندارد ملی شماره: ۴-۱۸۳۹۲]

۳-۱۳

نانوفاز

nanophase

ناحیه‌ای متمایز از نظر فیزیکی یا شیمیایی است یا اصطلاحی جمع‌ی است برای محدوده هم‌جنس در یک ماده که از لحاظ فیزیکی متمایزند و نواحی متمایز دارای یک، دو یا سه بعد نانومقیاس‌اند (۳-۱).

یادآوری ۱- نانو اشیایی که در فاز دیگر وارد شده است یک نانوفاز را می‌سازد.

[منبع: زیربند ۳-۱۲ استاندارد ملی شماره: ۴-۱۸۳۹۲]

۱۴-۳

نانولایه

nanolayer

لایه ای از مواد با ضخامتی در نانومقیاس (۳-۱).

[منبع: زیربند ۳-۲-۱ ISO/TS 80004-11]

۳-۱۵

نانوپوشش

nanocoating

پوششی با ضخامتی در نانومقیاس (۱-۳).

[منبع: زیربند ۳-۲-۲ ISO/TS 80004-11]

۱۶-۳

نانوفیلم

nanofilm

فیلمی با ضخامتی در نانومقیاس (۱-۳).

یادآوری ۱- یک نانوفیلم، نانو لایه‌ای است که می‌تواند مستقل باشد.

یادآوری ۲- یک نانوفیلم می‌تواند از جامد یا مایع ساخته شود (نانوفیلم)

یادآوری ۳- یک نانوفیلم می‌تواند از یک لایه تک مولکولی ساخته شده باشد (به عنوان مثال فیلم Langmuir-blodgett).

[منبع: زیربند ۳-۲-۳ ISO/TS 80004-11]

۴ اصطلاحات و توضیحات:

یادآوری- چنین توضیحاتی که مکمل توضیحات قبلی است، با هدف درک مفاهیم به‌جای نشان دادن سلسله مراتب ارائه شده است.

۱-۴

نانومقیاس (۱-۳)، پدیده نانومقیاس (۲-۳)

تعاریف ایران - ایزو:

نانومقیاس: گستره اندازه بین تقریباً ۱ nm تا ۱۰۰ nm است.

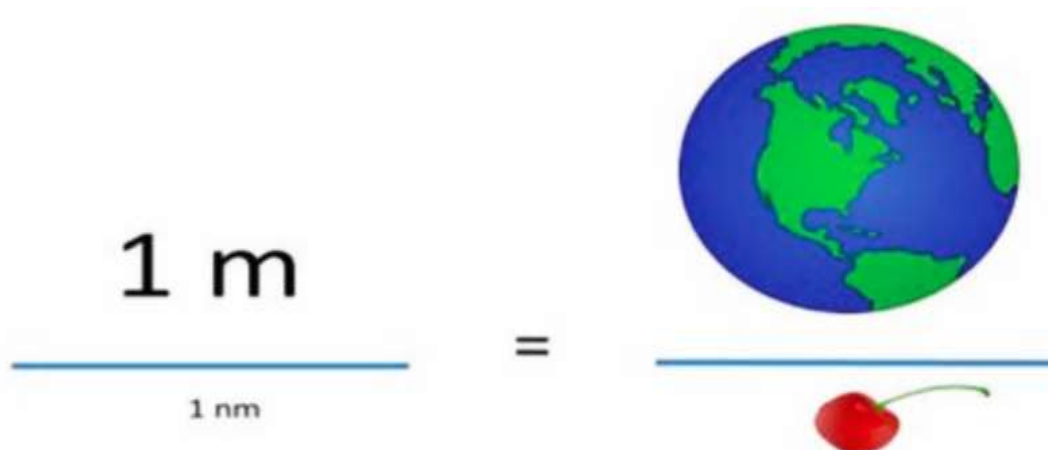
یادآوری- خواصی که از اندازه‌های بزرگتر استخراج می‌شوند، عمدتاً در این محدوده طولی نشان داده می‌شوند.

[منبع: زیربند ۲-۱ استاندارد ملی ایران- ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

پدیده نانومقیاس: اثری که حاصل نانوایشیاء (۳-۶) یا وجود نواحی محدوده نانومقیاس (۱-۳) است.

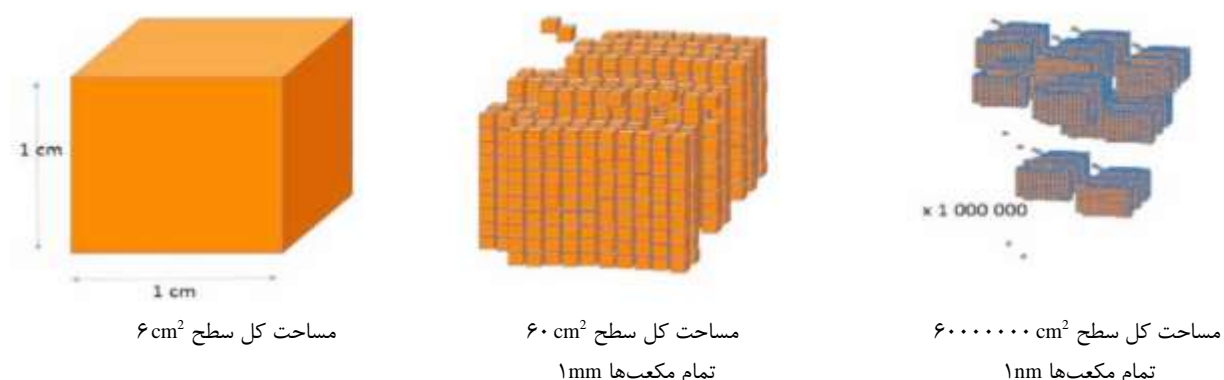
[منبع: زیربند ۲-۱۳ استاندارد ملی ایران- ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

مقیاس نانو یک توصیفگر توافق شده است که عمدتاً به گستره اندازه ۱ nm تا ۱۰۰ nm اشاره دارد که یک نانومتر 10^{-9} متر است. برای درک اندازه مربوطه ابعاد نانومقیاس، شکل ۱، نسبت یک متر به یک نانومتر را به طور تقریبی مشابه نسبت بین زمین و یک گیلان را مشخص می‌کند. اتم‌ها اندازه‌ای در حدود ۰٫۱ nm تا ۰٫۴ nm دارند و DNA ضخامتی در حدود ۲ nm دارد.



شکل ۱- مقایسه اندازه ۱ nm

محدوده ۱ nm تا ۱۰۰ nm جایی است که تغییرات در خواص مواد وابسته به مقیاس نانو، احتمال دارد دیده شود. این تغییرات می‌توانند به دلیل افزایش سطح محدوده‌ایی که یک شیء به مقیاس نانو کاهش می‌یابد، اتفاق بیفتند یا به دلیل اندازه و مساحت قابل دسترس که در آن فرایندهای فیزیکی و شیمیایی اتفاق می‌افتد. بنابراین شکل ۲ چگونگی افزایش مساحت سطح را نشان می‌دهد که یک شیء تکی به مجموعه‌ای از اشیاء کوچکتر خرد می‌شود.



شکل ۲- افزایش مساحت سطح با افزایش تقسیم

مواد در نانومقیاس می‌توانند خواصی با مشخصه‌های جدید یا بهبودیافته را نشان دهند. خواصی که می‌توانند در نانومقیاس تحت تاثیر قرار گیرند می‌توانند شامل موارد زیر باشند:

- نوری (برای مثال رنگ)؛

- مکانیکی (برای مثال استحکام کششی)؛

- شیمیایی (برای مثال کاتالیزوری)؛

- الکتریکی (برای مثال رسانایی)؛

مثال ۱: نانوذرات طلا وابسته به اندازه‌شان به رنگ قرمز، سبز یا بنفش می‌توانند ظاهر شوند زیرا آنها با تابش الکترومغناطیسی برهمکنش می‌کنند (مثال: نور مرئی)، در مقایسه شده با ذرات طلای بزرگتر غیرنانومقیاس که به رنگ زرد دیده می‌شوند. این خواص طلا در زمان‌های قدیم در رنگ آمیزی پنجره‌های شیشه‌ای استفاده شده است که بیان کننده این است که مردم در مدت زمان‌های طولانی بدون آن که متوجه آن باشند، بر روی نانومقیاس کار می‌کردند.

مثال ۲: نقاط کوانتومی (QD)، ذرات نیم‌رسانا در نانومقیاس که نور را در شرایط مشخصی نشر می‌دهند و می‌توانند برای ساخت نمایشگرها مانند صفحات تلویزیون‌ها و رایانه‌ها و تلفن‌های هوشمند که از نظر انرژی کارآمد هستند، استفاده شوند.

مثال ۳: استحکام مکانیکی فولاد یا تایرهای لاستیکی می‌تواند بسیاری از چین‌خوردگی را برای پراکنده‌سازی نانوآشیاء در طول ساخت آن‌ها افزایش دهد.

مثال ۴: باتری‌ها، پیل‌های سوختی و کاتالیزورها می‌توانند برای افزایش فعالیت ادغام شده با نانوذرات برای تولید حالت‌های مقرون به صرفه، پاک‌تر و امن‌تر برای ذخیره انرژی به کار روند.

مثال ۵: برای بهبود خنک‌کننده‌های تراشه‌های رایانه‌ای و LED ها^۱، نانولوله‌های کربنی درون ساختارها گنجانده می‌شوند تا رسانایی گرمایی و الکتریکی آن‌ها را افزایش دهند.

مثال ۶: درمان‌های دارویی در چند سال اخیر پیشرفت چندانی داشته است به گونه‌ایی که ساختار بسیاری از سامانه‌های زیست‌شناختی توسط عناصر نانومقیاس آنها تعیین می‌شوند. یک پادتن معمولی با اندازه ۱۰ nm است، در حالی که محدوده اندازه ویروس‌ها ۱۰ nm تا ۴۰۰ nm است.

خواص جدید که به‌طور قابل ملاحظه‌ایی با فناوری نانو افزایش یافته است به عنوان «پدیده نانو» شرح داده شده است.

۲-۴

فناوری نانو (۳-۳)

تعاریف ایران - ایزو:

فناوری نانو: استفاده از دانسته‌های علمی در دست‌کاری و کنترل ماده، غالباً در نانومقیاس (۱-۳) برای بهره‌برداری از پدیده‌ها و خواص وابسته به ساختار و اندازه است. این خواص متمایز با خواص اتم‌ها و مولکول‌های منفرد و غیرقابل برون‌یابی (استنتاج) از شکل توده همان ماده‌اند.

یادآوری - دست کاری و کنترل شامل سنتز مواد هم می شود.

[منبع: زیربند ۲-۳ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

اگرچه دانشمندان و صنعتگران مواد را در مقیاس نانو برای قرن ها اصلاح کرده اند (پنجره های شیشه ای رنگ شده)، تا زمانی که اطلاعات تخصصی میکروسکوپی (میکروسکوپ الکترونی) نبود، نمی توانستیم مواد را در نانومقیاس تجسم کنیم و ساختار دقیقشان را کنترل کنیم. فناوری نانو می تواند یک محصول یا فرایند را به نحوی بهبود دهد که بدون آن غیر ممکن باشد است.

مثال ۱: فناوری نانو برای تصفیه آب به منظور صاف کردن موثرتر استفاده شده است (به عنوان مثال توانایی ساخت غشا با حفره های کوچک که تنها اجازه عبور مولکول های آب را از آن منافذ می دهد. همچنین روش های مشابهی در فرایند تولید شیر به- عنوان جایگزینی برای پاستوری کردن استفاده شده است.

مثال ۲: فناوری نانو می تواند تحویل دقیق تری از دارو به هدف را انجام دهد. مثلا احاطه سازی و پیشرفت سطح سلول با اتصالات خاص به کمک این فناوری انجام گرفته است. این موضوع باعث می شود تا این فرایند خاص تر و میزان سمیت کمتر شود.

۳-۴

نانومواد

۱-۳-۴ کلیات

تعاریف ایران - ایزو:

نانوماده (۳-۴): ماده ای که هر بعد خارجی آن نانومقیاس (۱-۳) است یا ساختار داخلی یا ساختار سطحی آن نانومقیاس است.

یادآوری ۱ - این اصطلاح عمومی شامل نانوشی و ماده نانو ساختار است.

[منبع: زیربند ۲-۴ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

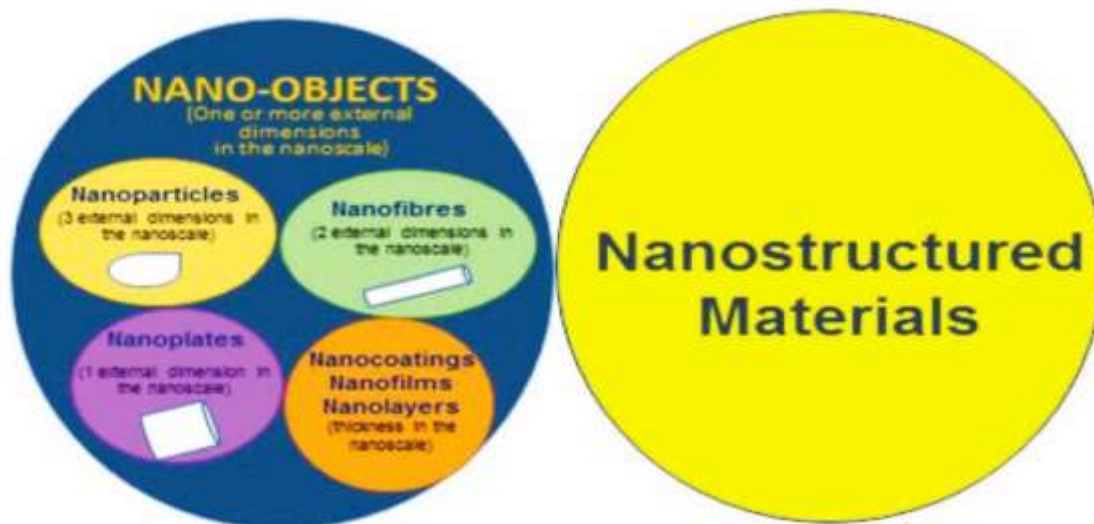
نانوماده ساخته شده (۳-۵): نانوماده ای (۳-۴) که برای داشتن خواص یا ترکیبی خاص به طور هدفمند تهیه شده است.

[منبع: زیربند ۲-۹ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

نانو مواد شامل موارد زیر هستند: (شکل ۳):

۱- مواد نانوچندساز (نانوساختاری) که موادی با ساختار داخلی یا ساختار سطحی در مقیاس نانو هستند؛

۲- نانو اشیاء که حداقل یک بعد خارجی در مقیاس نانو دارند؛



شکل ۳- نانومواد

نانومواد می‌توانند به طور طبیعی، مصنوعی و تصادفی تولید شوند. مثلاً نانوشی تولید شده به‌عنوان یک محصول جانبی غیرعمدی حاصل از فرایند.

به طور مثال نانوماده می‌تواند شامل مواد زیر باشد:

- به‌طور طبیعی از منابع زیستی تولید شوند، مانند سیلیس تولیدشده در پوسته برنج؛
- به طور طبیعی از منابع زمینی تولید شوند، مانند نانوذرات منتشرشده از یک فوران آتشفشانی؛
- نانوماده سنتزی، مانند نانوذرات تیتانیوم‌دی‌اکسید؛
- نانومواد ساخته شده از منابع زیستی، مانند نانومواد سلولز از یک منبع گیاهی؛
- نانوماده تصادفی، مانند پیوستن ذرات بخار مانند، بخار ناشی از سوختن چوب در اجاق، آگزوز دیزلی خودرو؛

۲-۳-۴

نانواشیا (۳-۶)

۱-۲-۳-۴ عمومی

تعاریف ایران- ایزو:

نانوشی: هر قطعه از ماده با یک، دو یا سه بعد خارجی در نانومقیاس (۱-۳) است.

یادآوری- ابعاد خارجی دوم و سوم عمود بر بعد اول و همچنین عمود بر یکدیگرند.

[منبع: زیربند ۲-۵ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴].

نانوآشیا در حال حاضر بر اساس شکل و اندازه تقسیم‌بندی شده‌اند. نانوآشیا به طور معمول در ابعادی محدود به نانومقیاس شرح داده شده یا گروه بندی شده‌اند:

- در یک بعد (نانوصفحه‌ها)؛

- در دو بعد (نانوالیاف و نانولوله)؛

- در هر سه بعد (نانوذرات یا نقاط کوانتومی)؛

به‌طور مثال یک نانوصفحه، یک بعد در نانومقیاس دارد، اما ابعاد دیگری دارد که بزرگتر از نانومقیاس هستند. یک شیئی یک بعدی نانوماده، به طور معمول یک سه بعدی با یک بعد در نانومقیاس شناخته می‌شود.

۴-۳-۲-۲ خواص، اندازه و شکل

واژه نانوآشیا یک واژه عمومی یا جمعی است که شامل طیف وسیعی از اشکال و ابعاد اشیاء در نانومقیاس است (به طور مثال نانوذرات، نانولیف‌ها، نانوصفحه در شکل ۳ نشان داده شده است). بنابراین نانوآشیا شامل طیف گسترده‌ای از شکل‌ها هستند. تعاریف ایران - ایزو از نانوآشیا و واژه‌های مرتبط بر اساس اندازه و شکل و نه هر خصوصیات یا خواص اختصاصی است چرا که قرار دادن آنها در یک تعریف غیر ممکن خواهد بود.

تعاریف ایران - ایزو:

نانوذره (۳-۷): نانو شیئی (۳-۶) با تمام ابعاد خارجی در مقیاس نانو که در آن طول بلندترین و کوتاهترین محورهای نانوشیء به‌طور قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر تفاوت نداشته باشد.

یادآوری - چنانچه ابعاد به‌طور قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر تفاوت داشته باشند (معمولاً بیشتر از سه برابر)، ممکن است اصطلاحاتی مانند نانولیف یا نانوصفحه بر نانوذره ترجیح داده شود.

[منبع: زیربند ۴-۴ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۲-۸۰۰۰۴]

واژه نانوذره زیر مجموعه‌ای از نانوآشیا با تمام ابعاد خارجی در نانومقیاس را به تصویر می‌کشد. اگر نانوآشیا یک یا دو بعد خارج از نانومقیاس داشته باشد، شکل‌های متفاوتی خواهند داشت و به عنوان نانولیف‌ها یا نانوصفحه‌ها که مناسب‌تر است دسته‌بندی می‌شوند. همچنین مهم به تذکر است که نانومیله‌ها، نانولیف‌های توخالی هستند، بنابراین جزء نانوآشیا محسوب می‌شوند.

مثال ۱: کاربردهای نانوذرات:

- فعالیت ضد میکروبی، به طور مثال نانونقره‌ها برای پانسمان زخم استفاده می‌شوند و همچنین نانو ذرات می‌توانند خواص کاتالیزوری، ذخیره شیمیایی، سامانه‌های انتقال دارو (هدف‌یابی، انتقال دارو کنترل شده) را نیز داشته باشند؛

مثال ۲: کاربردهای نانولیف‌ها:

- نانومیله‌ها برای تقویت مواد یا محصولات (راکت های تنیس)؛

- نانومیلها کربن برای افزایش رسانایی الکتریکی؛

- نانومواد سلولز برای تقویت بسته‌بندی؛

مثال ۳: کاربردهای نانوصفحه‌ها

- بسته‌بندی مواد غذایی، نانو ذرات خاک رس برای افزایش خواص مربوط به فیلم‌های پلاستیکی؛

- تاثیر رنگ دانه‌ها در صنعت لوازم آرایشی بهداشتی (محو سازی تا تار نمودن چین و چروک‌ها)؛

- گرافن‌ها برای رساناهای انعطاف پذیر مانند نمایشگرهای قابل انعطاف؛

فضایی از کاربردهای متنوع در نانو الکترونیک که زمینه‌ای برای علم و فناوری متمرکز بر پیشرفت و تولید وسایل کاربردی الکترونیکی با ترکیبات در مقیاس نانو است.

۴-۳-۳

نانواشياء (۳-۶)، کلوخه‌ها (۳-۸) و انبوهه‌ها (۳-۹)

تعاریف ایران- ایزو:

کلوخه: مجموعه‌ای از ذرات که به شکلی ضعیف یا نسبتاً قوی به یکدیگر متصل شده‌اند، به طوری که مساحت سطح خارجی منتجه آنها مشابه مجموع مساحت سطوح تک تک اجزای تشکیل دهنده باشد.

یادآوری ۱- نیروهایی که کلوخه را نزدیک به یکدیگر نگه می‌دارد نیروهای ضعیفی هستند، مثلاً نیروهای وان دروالس یا درهم-تافتگی‌های فیزیکی ساده.

یادآوری ۲- کلوخه‌ها به عنوان ذرات ثانویه نیز در نظر گرفته می‌شوند و ذرات اصلی منشأ، ذرات نوع اول نامیده می‌شوند.

[منبع: زیربند ۳-۴ استاندارد ملی ایران- ایزو شماره: ۲-۸۰۰۰۴]

انبوهه: ذره متشکل از ذراتی با پیوندهای قوی یا جوش خورده که مساحت سطح خارجی منتجه آنها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مجموع مساحت سطوح تک تک اجزای تشکیل دهنده باشد.

یادآوری ۱- نیروهایی که انبوهه را کنار یکدیگر نگه می‌دارند، نیروهای قوی هستند. مثلاً پیوندهای کووالانسی یا یونی و یا نتیجه جوش خوردن و گره خوردگی فیزیکی پیچیده یا در غیر این صورت، ذرات اولیه به هم چسبیده قبلی.

یادآوری ۲- انبوهه‌ها به عنوان ذرات ثانویه نیز در نظر گرفته می‌شوند و ذرات اصلی منشأ، ذرات اولیه نامیده می‌شوند.

[منبع: زیربند ۳-۵ استاندارد ملی ایران- ایزو شماره: ۲-۸۰۰۰۴]

بسیاری از نانو اشیا تمایل به تشکیل ذرات بزرگ دارند که آنها نیز به عنوان کلوخه یا انبوهه شناخته شده‌اند. (شکل ۴)

تفاوت‌ها بین کلوخه و انبوهه بر اساس قدرت پیوند بین اجزای نانواشیا است. یک توده‌ای از نانو اشیا عمدتاً یک ذره نانوساختار مجزا است و عملاً غیرممکن است که نانواشیا تشکیل دهنده را بدون گسستن اجزای سازنده آزاد کند. در حالی که یک کلوخه به راحتی می‌تواند اجزای نانوشیء خود را به دلیل پیوندهای نسبتاً

ضعیف رها کند. این تعداد پیوندهای ضعیف تر در کلوخه‌ها است که توانایی آزاد کردن نانو اشیاهای تشکیل دهنده را تعیین می‌کند. کلوخه‌ها می‌توانند از نانو اشیا یا انبوهه‌هایی از نانو اشیا ساخته شوند (شکل ۴).

اندازه‌های کلوخه و انبوهه می‌توانند از نانومقیاس بزرگتر باشد. هنگامی که نانو اشیا درون یک واسطه قرار می‌گیرند، می‌توانند به طور طبیعی کلوخه شوند یا توده تشکیل دهند. به‌عنوان مثال پودرهای نانومواد تجاری در دسترس به طور معمول برای تشکیل کلوخه یا انبوهه‌ها استفاده می‌شوند.



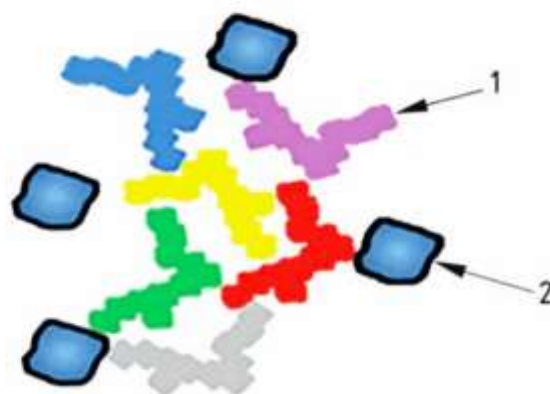
نانو شیء (اگر اندازه کمتر از ۱۰۰nm باشد) یا نانوذره

نانو اشیا تشکیل دهنده در انبوهه

کلوخه‌ای از انبوهه‌ها



نانو اشیاء تشکیل دهنده کلوخه



ترکیب نانو اشیاء تشکیل دهنده و انبوهه‌ها

راهنما:

(۱) انبوهه

(۲) نانو اشیاء تشکیل دهنده

شکل ۴- نانو اشیا، کلوخه‌ها و انبوهه‌های آنها

نانوپدید (۳-۱۰) - نانوبهبود (۳-۱۱):

تعاریف ایران - ایزو:

نانوپدیده: ظهور کارایی و یا عملکردی که فقط با فناوری نانو (۳-۳) امکان پذیر است.

[منبع: زیربند ۲-۱۵ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

نانو بهبود: ظهور کارایی و یا عملکردی که با استفاده از فناوری نانو (۳-۳) شدت یا بهبود یافته است.

[منبع: زیربند ۲-۱۶ استاندارد ملی ایران - ایزو شماره: ۱-۸۰۰۰۴]

نانومواد عموماً به منظور دستیابی محصولات و یا پیشرفت یک فرایند استفاده شده‌اند. نانوپدید یا نانوبهبود افزارها یا سامانه‌هایی هستند که کارکردهایی را بوجود می‌آورند یا بهبود می‌بخشند.

نانوپدیده مربوط به عملکردی است که بدون نانوفناوری ممکن نیست، در حالی که نانوبهبود مربوط به پیشرفت یک کارکرد موجود است.

مثال‌هایی که شامل نانوپدید یا نانوبهبود است:

- بازتابنده‌های خود تمیز شونده قابل کاربرد در شیشه یا سطوح (بتن)؛

- خود بهبود دهنده یا تعمیر شونده (رنگ ماشین)؛

- تولیدات، پردازش، بسته بندی، کنترل کیفیت و توزیع مواد غذایی؛

- مصارف دارویی مانند تشخیصات دارویی و انتقال دارو؛

- تجهیزات پزشکی، لوازم تشخیص سریع ایدز؛

- محصولات ورزشی مثل دوچرخه‌های سبک وزن با نسبت نیرو به وزن افزایش یافته؛

- تخته‌های مقاوم به سایش با استفاده از نانومواد سلولزی؛

- روان کننده‌ها و فیلترها؛

- غشاهای تصفیه کننده آب؛

فرایندها یا خدماتی مانند کاتالیز کردن، صافی‌های آب یا وسایل الکترونیکی (مانند راه‌یابی GPS) می‌توانند به وسیله فناوری نانوفعال شده یا بهبود یابند.

نانوچندسازه‌ها (۳-۱۲)

تعاریف ایران - ایزو:

نانوچندسازه: جامدی شامل مخلوطی از دو یا چند ماده که از نظر فازی جدا شده‌اند و دارای یک یا چند نانوفاز (۳-۱۳) است.

یادآوری ۱- نانوفازهای گازی مستثنا می‌شوند (آنها زیر عنوان ماده نانومتخلخل مطرح می‌شوند).

یادآوری ۲- مواد با فازهای نانومقیاس که فقط به وسیله رسوبگیری تشکیل می‌شوند مواد نانوچندسازه بشمار نمی‌آیند.

[منبع: زیربند ۴-۲ استاندارد ملی شماره: ۱۸۳۹۲-۴]

نانوفاز: ناحیه‌ای متمایز از نظر فیزیکی یا شیمیایی است یا اصطلاحی جمعی است برای محدوده هم‌جنس در یک ماده که از لحاظ فیزیکی متمایزند و نواحی متمایز دارای یک، دو یا سه بعد نانومقیاس‌اند (۳-۱).

یادآوری ۱- نانوآشپایی که در فاز دیگر وارد شده است یک نانوفاز را می‌سازد.

[منبع: زیربند ۳-۱۲ استاندارد ملی شماره: ۱۸۳۹۲-۴]

مواد چندسازه در صنعت بسیار متداول هستند، از جمله نانوچندسازه‌هایی که نانوآشپا یک یا چند فاز چندسازه را تشکیل می‌دهند. مواد تشکیل دهنده بستره می‌توانند شامل ترکیبات شیمیایی یا فازهای متفاوتی باشد.

مثال‌ها شامل:

- بستره بسپاری شامل نانوذرات افزوده شده برای بهبود استقامت مواد مانند تایرها؛

- بتن با استفاده از نانوآشپا کربن برای بهبود استقامت؛

- حافظه الکترونیکی ساخته‌شده به وسیله سیم‌های مغناطیسی درون بستره آندی آلومینیم؛

نانولایه‌ها (۳-۱۴)، نانوپوشش‌ها (۳-۱۵) و نانوفیلم‌ها (۳-۱۶)

تعاریف ایزو:

نانولایه: لایه ای از مواد با ضخامتی در نانومقیاس (۳-۱).

[منبع: زیربند ۳-۲-۱ ISO/TS 80004-11]

نانوپوشش: پوششی با ضخامتی در نانومقیاس (۳-۱).

[منبع: زیربند ۳-۲-۲ ISO/TS 80004-11]

نانوفیلم: فیلمی با ضخامتی در نانومقیاس (۳-۱).

یادآوری ۱- یک نانوفیلم، نانو لایه‌ای است که می‌تواند مستقل باشد.

یادآوری ۲- یک نانو فیلم می‌تواند از جامد یا مایع ساخته شود (نانوفیلم)

یادآوری ۳- یک نانو فیلم می‌تواند از یک لایه تک مولکولی ساخته شده باشد (به عنوان مثال فیلم Langmuir-blodgett).

[منبع: زیربند ۳-۲-۳ ISO/TS 80004-11]

ساختارهای طبقه‌بندی شده مانند فیلم‌ها و لایه‌ها برای برخی از مقاصد مفیدند، مانند بسته‌بندی که می‌تواند شامل لایه‌هایی برای جلوگیری از اکسایش، پخش-شدگی جوهر و همچنین عمر مفید و سایر کاربردهای کیفی باشد. تعداد لایه‌های بسیاری از مواد می‌تواند به صورت تک لایه و با ضخامت تنها چند نانومتر باشد. سطح نانوساخت‌ها تا جایی بهبود یافته‌اند که ساختار الگو بر یک جز می‌تواند تاثیر عمده ای بر عملکرد داشته باشد، از جمله خود تمیزشوندگی، اصطکاک و خواص نوری.

یک نانو فیلم لایه‌ای با ضخامتی در نانومقیاس است که به خودی خود به عنوان یک واحد تک وجود دارد و می‌تواند انعطاف پذیر یا سخت و سفت باشد. یک نانوپوشش تنها در ترکیب با بستر خود وجود دارد و نمی‌تواند وجود مستقلی داشته باشد.

تمام این لایه‌ها یک واژه مشترک را استفاده می‌کنند. واژه ورقه، صفحه و فیلم که گاهی قابل تعویض با این اسم است.

غشا یک فیلم جدا شده دو فازی است.

مثال‌ها شامل موارد زیر است:

- لایه‌های ضد بازتاب که می‌توانند خواص بازتابی یک لنز عینک را افزایش دهند؛
- پوشش‌های نانو بر روی محصولات دارویی برای تنظیم انحلال؛
- افزایش خواص مکانیکی مانند سختی؛
- پوشیدگی برای کنترل هدررفت گرمایی از طریق پنجره‌ها؛
- پوشش سرامیکی برای مقاومت؛
- کاشتنی‌های دندانپزشکی پوشش داده شده، جایگزینی پوشش‌های اتصال برای افزایش طول عمر؛
- سطوح ضد لغزش ساخته شده توسط بافت سطحی؛

کتاب‌نامه

[1] <https://www.nano.gov>

[2] Feynman, R.P. 'There's Plenty of Room at the Bottom'. Engineering and Science, February 1960 p 22-36.

[3] Richard Feynman. "Tiny Machines" Nanotechnology Lecture, 1984 California Institute of Technology.

[4] <https://www.en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology>