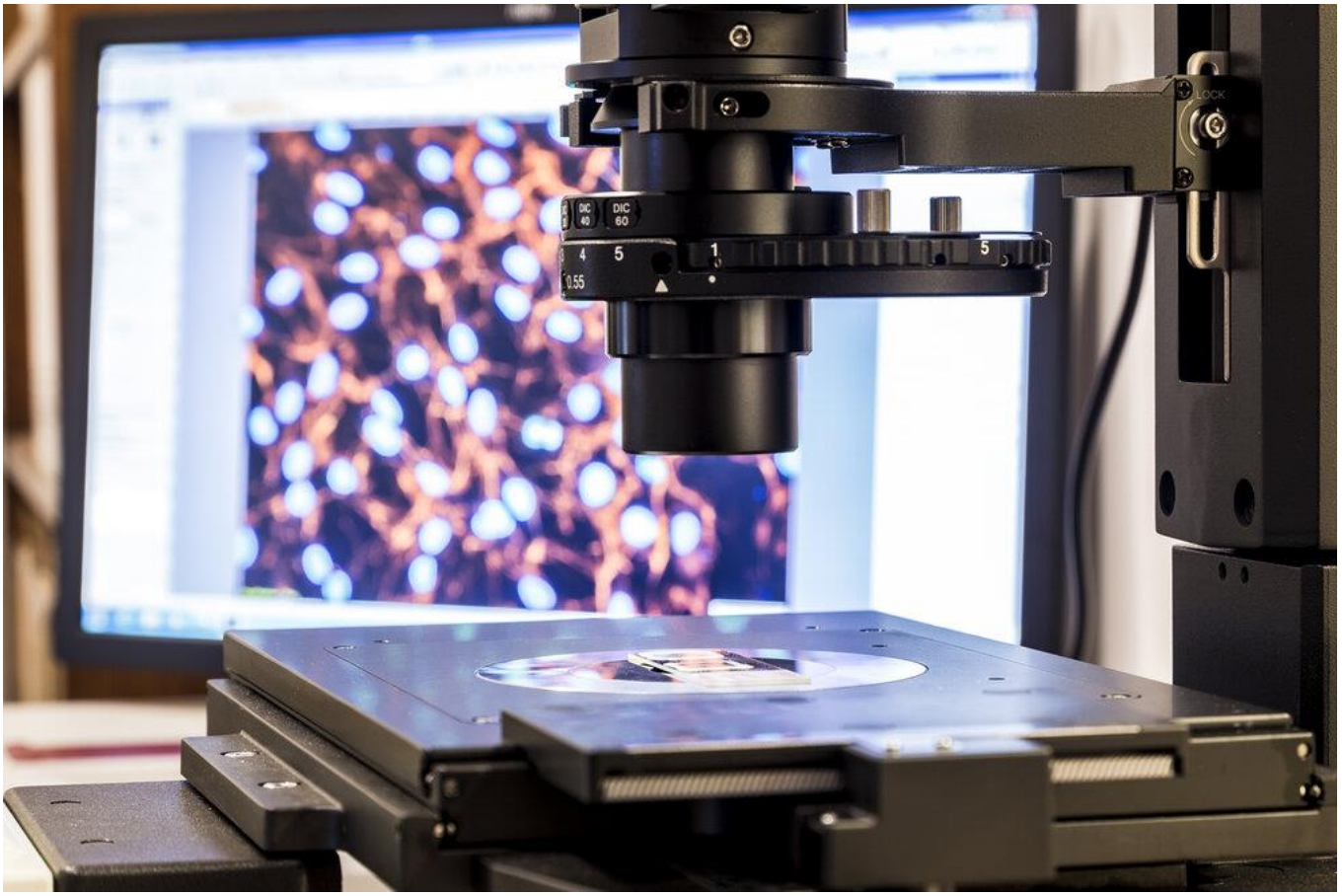


نیاز به اندازه‌گیری و آزمایش در فناوری نانو

تهیه و جمع‌آوری

این گزارش توسط گروهی با نام "گروه متخصصان سطح بالا" در اندازه‌گیری و آزمایش تحت نظر برنامه چهارچوب اروپایی برای تحقیق و توسعه جمع‌آوری شده است.

چکیده

این گزارش توسط گروه متخصصان سطح بالا یا به صورت مخفف (HLEG)در حوزه فعالیت‌های جامع "آزمایش و اندازه‌گیری" برای برنامه چهارچوب اروپایی برای توسعه تحقیق و فناوری با هدف شناسایی نیازهای جدید تحقیق و توسعه در مترولوژی (شامل اندازه‌گیری و آزمایش) به منظور پشتیبانی از مقتضیات فناوری نانو به رشته تحریر در آمده است. پیش‌بینی می‌شود فناوری نانو یکی از اصلی‌ترین فناوری‌های جدید در دهه پیش رو باشد. بعد از یک مقدمه کوتاه در مورد فناوری نانو، گزارش از زوایای زیر به نانومترولوژی می‌پردازد:

استانداردهای نوشته‌شده

تجهیزات علمی

رویه‌های اندازه‌گیری تایید اعتبارشده

استانداردهای اندازه‌گیری

آنالیز شیمیایی

زیست‌شناسی

پیشنهاد می‌شود که علی‌رغم ماهیت چندرشته‌ای علوم نانو و ماهیت چندبخشی کاربردهای صنعتی آن، نانومترولوژی می‌تواند روی توسعه‌های جامع کمتری تمرکز کند. بدین ترتیب پیشنهاد می‌شود که استانداردهای اندازه‌گیری مشابهی می‌تواند از سه بخش مختلف صنعت پشتیبانی کند: مهندسی دقت، میکرو و اپتوالکترونیک و فناوری زیست‌مولکولی.

۱. خلاصه اجرایی

نیاز به اندازه‌گیری و آزمایشی که ممکن است برخواسته از توسعه‌های پیش‌بینی‌شده در فناوری نانو باشد، مهم و اساسی بوده و تنوع گسترده‌ای دارد. بخش‌های موفق صنعت نظیر مهندسی دقت، میکرو و اپتوالکترونیک به همراه فناوری زیست‌مولکولی، بدون توسعه‌های مرتبط در اندازه‌گیری، آزمایش و اصول مرتبط، قادر به توسعه تمامی پتانسیل خود در اروپا نخواهند بود.

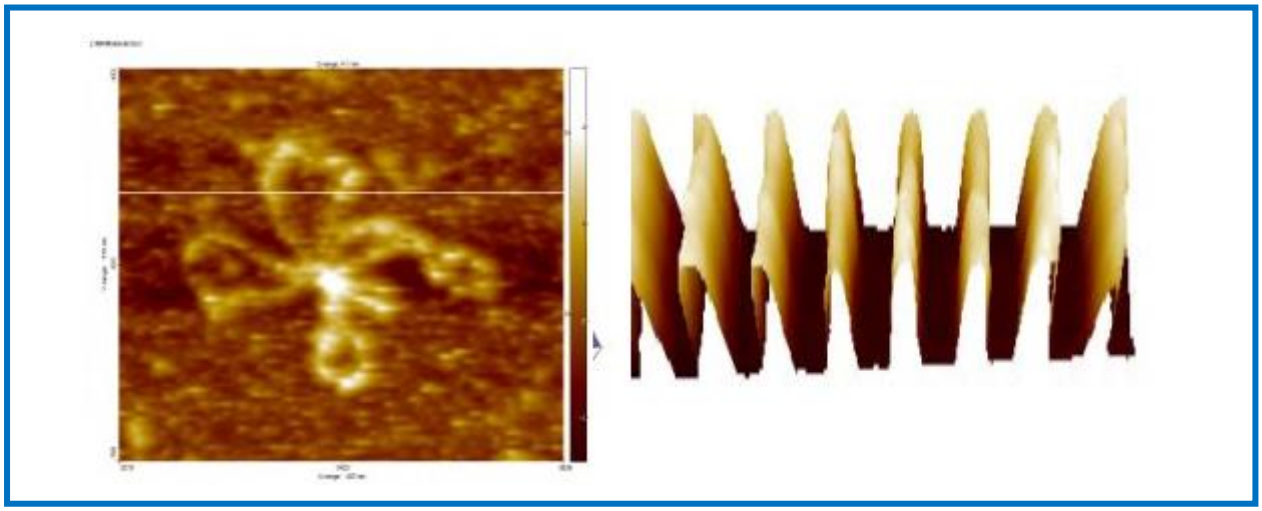
مترولوژی به عنوان یک فناوری جامع و مفهوم گسترده‌ای از اندازه‌گیری و آزمایش، باید درون مفهوم‌های مختلفی از حوزه‌های تحقیقاتی اروپا)به صورت مخفف – (ERA با تاکید بر مراکز عالی – بررسی شود. ما در اینجا به طور خاص در ارتباط با "فناوری نانو" صحبت می‌کنیم.

گزارش وضعیت پیش‌رو، سومین مقاله‌ای است که توسط گروه متخصصان سطح بالا) به صورت مخفف (HLEG) در این زمینه نوشته می‌شود. گروه HLEG توسط کمیسیون رسمیت یافته است تا برای فعالیت در فناوری جامع "اندازه‌گیری و آزمایش" مشاوره‌هایی را بدهد؛ این گزارش، وضعیت متعارفی از اعضای HLEG را در مورد اهمیت توسعه تکنیک‌های اندازه‌گیری و توسعه مناسب درون فناوری نوظهور نانو منعکس می‌نماید. با این وجود، این گزارش نتیجه زحمات زیادی بوده و به طور گسترده‌ای منتشر شده است.

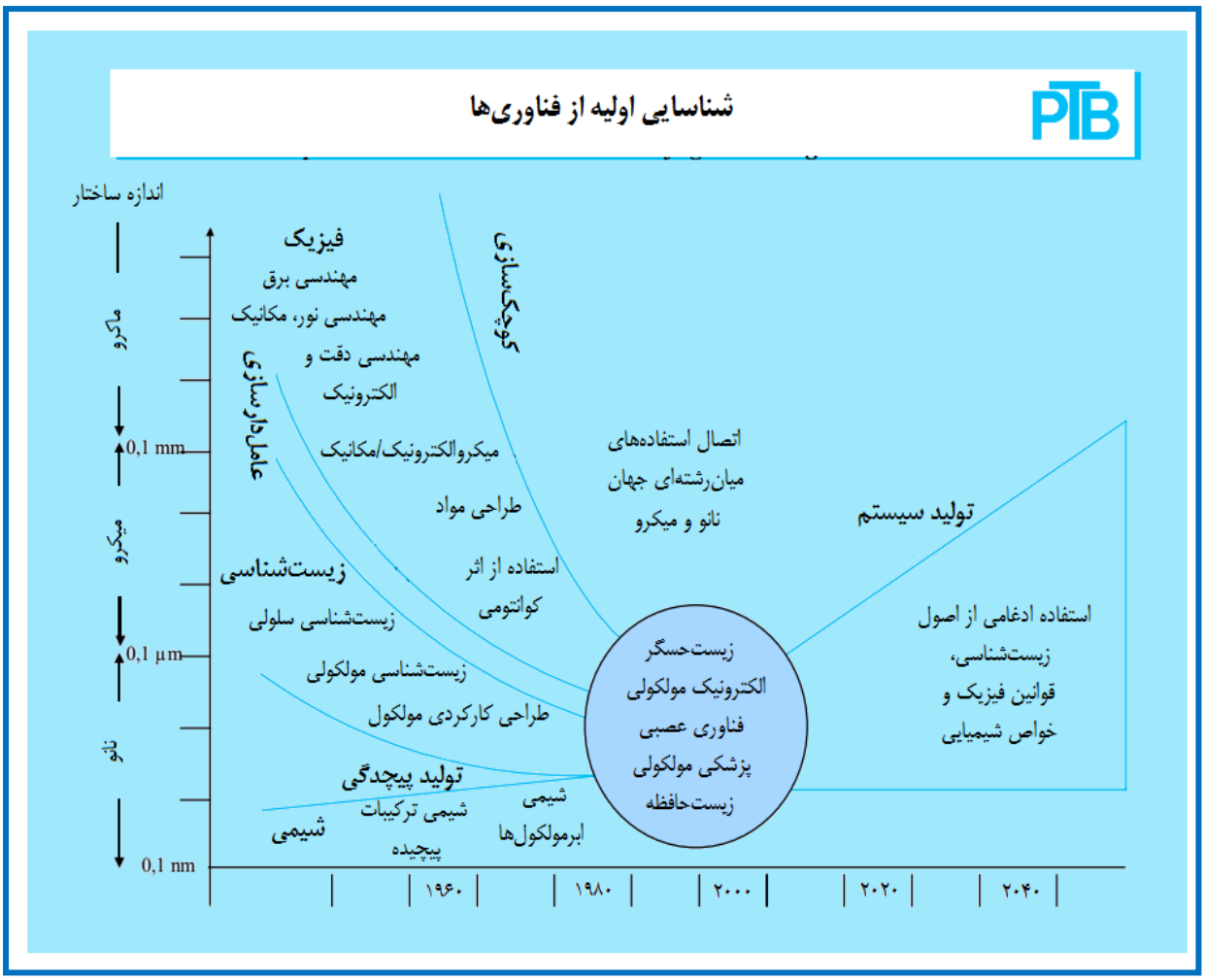
HLEG قویا پیشنهاد می‌کند که کمیسیون، اندازه‌گیری و آزمایش را به صورت عمومی ببیند – و به خصوص برای فناوری نانو (به عنوان بخشی ادغامی از زمینه‌های تحقیقاتی اروپا به منظور تقویت رقابت‌پذیری اروپایی در صحنه‌های جهانی و همچنین مشارکت برای ارتقا شرایط زندگی مردم اروپا) به کار ببرد.

نانومترولوژی بهتر است (باید) به عنوان بخشی ضروری و جدایی ناپذیر از تمامی بخش‌های فناوری نانو دیده شود. هر فعالیت درون علم و فناوری باید با مرجعی از اندازه‌گیری‌ها صورت پذیرد تا بتوان به مقایسه‌پذیری نتایج کمی و قابلیت جایگزینی محصول اعتماد کرد.

علاوه بر این، HLEG به کمیسیون توصیه می‌کند که بخش‌های اساسی از تامین بودجه برای فناوری نانو را باید به طور خاص به اندازه‌گیری و آزمایشات مرتبطی ارجاع دهد که زمینه برای پیشنهادات و پروزال‌های جدید نیز باز باشد. به طور همزمان، نانومترولوژی درون حوزه‌های تحقیقاتی اروپا(ERA) ، باید مبتنی بر مراکز عالی و شبکه‌های اروپایی موجود بنا شود. همچنین، انتشار سیستماتیک دانش در این فضا مطلوب است. در نهایت باید گفت که فناوری نانو در زمینه‌های مختلفِ مرتبط با خودش و در کل، یک فناوری بسیار پویا محسوب می‌شود. تحقیقات پایه، توسعه فنی به‌کار رفته، نوآوری و تجاری‌سازی، تقریبا به صورت همزمان رخ می‌دهد. به طور کلی، مترولوژی هم به یک سرمایه‌گذاری متمرکز برای فناوری و هم به افراد ماهر نیاز دارد. همچنین موضوع مذکور (مترولوژی برای اندازه‌گیری و آزمایش)، برای فناوری نانو نیز صدق می‌کند. به کمیسیون پیشنهاد می‌شود که تحقیقات پشتیبانی و چالشی را بپذیرد، خود را برای حفظ محققین اروپایی و صنایع رو به رشد توسعه دهد و از یک فناوری نظارتی توانمند (به اسم اندازه‌گیری و آزمایش) حمایت کند. در این مورد منظور، اندازه‌گیری و آزمایش برای فناوری نانو است.



شکل ۱. سه مثال از "نانومترولوژی" کاربردی کنونی که از مهندسی دقت، اپتوالکترونیک و زیست‌فناوری گرفته شده است.



شکل ۲. توسعه حوزه‌های علوم مرسوم نظیر فیزیک، زیست‌شناسی و شیمی در علوم و فناوری نانو

۲. فناوری نوظهور نانو

عبارت "نانوفناوری" به معنی اشیاء مختلف برای افراد مختلف هست.

بیشتر مفهوم مشترک برای فناوری نانو درون مهندسی تولید، خلاصه می‌شود. در این مفهوم، فناوری نانو به تدریج از میکروفناوری گرفته شده است. در اینجا هر پدیده فیزیکی، رفتار کارکردی یک فرآیند یا محصول فنی، تحت عبارت فناوری نانو حداقل در یک بُعد (کمیت بحرانی) رده‌بندی می‌شود. این کمیت یک بُعدی بیان‌گر واحد طول نانومتر است (۱ نانومتر، ۹- ۱۰ متر و یک میکرومتر ۶- ۱۰ است).

مشخصه‌سنجی، بررسی و تولید هر سیستم مکانیکی، الکترونیکی، شیمیایی و زیستی توسط مونتاژ مولکولی را شامل می‌شود – این رویکرد را در اصطلاح رویکرد پایین به بالا می‌گویند. همچنین رویکرد بالا به پایین با کوچک‌سازی فرآیند و محصول همراه است، مانند براده‌برداری و فرآیندهای چند مرحله‌ای از مواد بالک، نظیر مولفه‌های بصری یکپارچگی سطح و دقت در حد نانومتر و حتی دقت زیر نانومتر برای لیتوگرافی ماورابنفش و ماورابنفش بسطیافته.

ابعاد بحرانی به عنوان ابعادی جالب از نمونه در نظر گرفته می‌شود که برای کارکرد آن مهم است. عبارت "نمونه" به نمونه‌های بسیار کوچک محدود نمی‌شود. مثال‌هایی از ابعاد بحرانی در ادامه آمده است:

- زبری یک صفحه فلزی برای تولید بدنه ماشین، به طوری که امکان رنگ‌آمیزی به طور مناسبی فراهم شود
- لبه در یک فیلتر نوری برای ارتباطات مخابراتی، این لبه به خودی خود ممکن است چند میکرومتر باشد
- تخلخل غشا مولکولی پلیمر برای تحویل پیشرفته دارو
- فاصله در مولکول‌ها، عملکرد در این موارد با یک پیکربندی مشخص و خاص در ارتباط است

امروزه کوچک‌سازی پیوسته در فناوری‌های تولید، ساخت نمونه‌هایی با اندازه نانو را به همراه دقت نانومقیاس و ویژگی‌های نانویی ممکن ساخته است. این پیشرفت از طریق تکنیک‌های مختلفی نظیر تراش‌کاری و تجهیزکردن قطعات خودرو با دقت بسیار بالا، پلاسما و اشعه یونی UV و EUV برای نسل جدید لیتوگرافی (طرح‌نگاری) نوری، کندوپاش اشعه، و

فوتولیتوگرافی به همراه دستکاری مولکولی به دست آمده است. محصولات فناوری نانو امروزه در صنایع دارویی، میکروالکترونیک و مهندسی دقت یافت می‌شوند.

فناوری نانو تنها یک ادامه ساده از میکروفناوری نیست؛ بلکه حد نهایی دانش مواد را نشان می‌دهد (در دانش مواد، خصوصیات هر اتم در برابر زنجیره بسیار زیادی از اتم‌ها ناپدید می‌شود). اما در فناوری نانو، خصوصیات مواد اولویت خود را از دست می‌دهند و خصوصیات مولکول‌ها مهم می‌شود. به عبارت دیگر، فناوری نانو حوزه‌ای است که خصوصیات مولکولی (شامل اتم‌ها) و خصوصیات مواد با هم تلاقی پیدا می‌کنند. با این وجود ارتباط خصوصیات مولکولی، اغلب اوقات ضمنی و تلویحی است. در حالی که مطالعه DNA به وضوح به فناوری نانو مرتبط است، اما مفهوم "نانو" در زمینه قابلیت رنگ‌آمیزی یک صفحه فلزی و این مفهوم در زمینه تراش‌کاری سیلندر موتور یک خودرو به سادگی از چشمان غیر تیزبین پنهان می‌ماند. با این اوصاف دو مثال اخیر پروژه‌هایی بوده‌اند که تحت اندازه‌گیری و آزمایش چارچوب‌های برنامه‌ای زیادی در گذشته قرار گرفته‌اند.

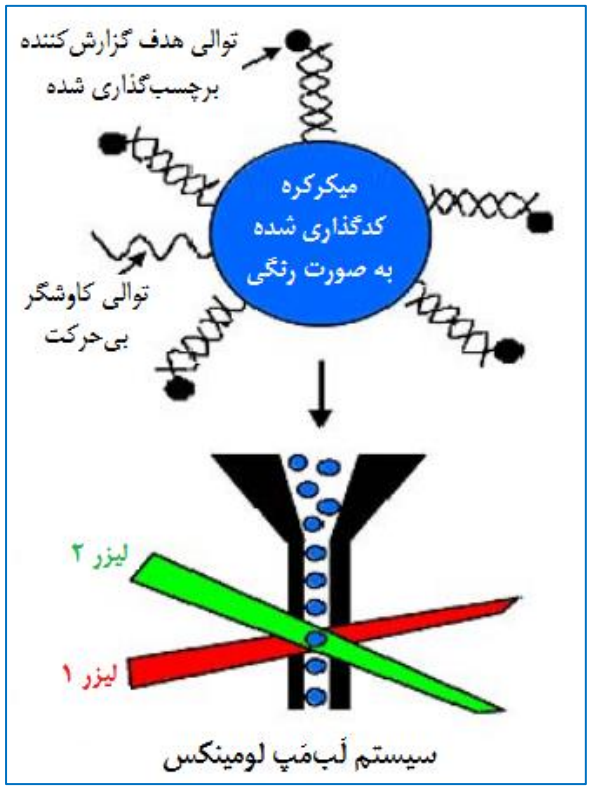
معنای اندازه‌گیری و آزمایش برای حمایت از فناوری نانو نسبت به مطالبی که در بالا بیان گردید، این است که "ابزارهای اندازه‌گیری" ایجاد شود تا اندازه‌گیری ابعاد بسیار کوچک را ممکن سازد. این ابزارها باید معنی درستی از اندازه‌گیری را بدهند تا با قابلیت ردیابی بتوان به متر در واحد SI (واحد سیستم بین‌المللی) رسید. همچنین زاویه باید برای مشخصه‌سازی صحیح ابعاد، اندازه‌گیری شود.

نانوشیمی

تحلیل شیمیایی در مقیاس نانومتر، مسئله‌ای با پتانسیل بالا محسوب می‌شود. در حال حاضر در سلول‌های زیستی، یا حتی در دستگاه‌های نیمه‌هادی کوچک‌تر، توجهات به تحلیل شیمیایی درون ابعاد بسیار کوچک معطوف شده است. در حال حاضر، هیچ ابزار عمومی وجود ندارد تا بتواند برای این تحلیل‌ها، دقت فضایی مناسب و رضایت‌بخشی را ارائه دهد. به تازگی، مفهوم فناوری نانو برای بررسی کمیت‌های دیگری به غیر از طول، به عنوان مثال برای مقادیر بسیار کم مواد، تعمیم داده شده است که کلمه نانوشیمی به آن اطلاق می‌شود. علاوه بر این، رویه‌ها و مواد مرجع مناسبی باید از این فناوری پشتیبانی کند.

نانوزیست‌شناسی

مفاهیم فناوری نانو به سرعت در زمینه‌های زیست‌شناسی مولکولی پذیرفته شده‌اند. به صورت خاص فناوری نانو یک ابزار مناسب است که در پروژه ژنوم انسان یا پروتئومیکس ، تحلیل‌هایی سریع و دقیق را ارائه می‌دهد. به عنوان مثال، با استفاده از اسلایدهای میکروسکوپ ، ربات‌های دقیق و سایر تجهیزات در دسترس، محققان قادرند میکروآرایه‌های پروتئین یا ژن را بسازند. این میکروآرایه‌ها می‌توانند عملکرد هزاران ژن یا پروتئین را به صورت همزمان اندازه‌گیری کنند. این "تراشه‌های ژنی" و "تراشه‌های پروتئینی" بیشتر در نشریات علمی عمومی‌تر ارائه شده‌اند و در حال پیش‌برد موج بعدی تحقیقات پزشکی و دارویی هستند.



شکل ۳. دستگاه مفهومی برای شناسایی تغییرات توالی DNA در سطح جفت پایه

میکروآرایه‌های DNA عمدتاً برای پایش سطوح بیان ژن (که به صورت همزمان تعداد بسیار زیادی از ژن‌ها قابل آزمایش هستند)، استفاده می‌شوند. با این حال آرایه‌ها می‌توانند برای شناسایی تغییرات توالی DNAدر یک سطح منفرد پایه استفاده شوند. مثالی از پلتفرم‌های زیادی که اکنون در دسترس هستند در بالا نشان داده شده است. واکنش‌های مولکولی روی سطوح دانه‌های میکروسکوپی اتفاق می‌افتند که به آن‌ها میکروکره گفته می‌شود. برای هر واکنش در یک پروفایل، هزاران مولکول به سطح میکروکره‌های کدگذاری‌شده به صورت رنگی می‌چسبند. کد رنگ تخصیص‌یافته، بیانگر واکنش درون آزمایش است و از لیزر برای پایش این واکنش استفاده می‌کند. اندازه واکنش‌های زیست‌مولکولی با استفاده از یک مولکول گزارش‌کننده دیگر اندازه‌گیری می‌شوند. این مولکول گزارش‌کننده در طول یک زنجیره واکنش پلیمری[v]، درون هدف جاگذاری می‌شود. مولکول گزارش‌کننده با هیبریده‌کردن کاوشگرهای روی میکرو کره، محدوده واکنش را نشان می‌دهد. این مولکول گزارش‌کننده یک رنگ دارد، بنابراین در مجموع دو منبع رنگ وجود دارند؛ کد رنگ میکرو کره و کد رنگ گزارش‌کننده روی سطح میکرو کره.

مثال‌های بیشتر

برای نشان‌دادن تنوع مسائل، در ادامه تعدادی مثال از مسائل ارائه می‌شود که تنها زمانی می‌توانند به درستی فهمیده شوند که مقیاس‌های مناسب در محدوده نانومتر در دسترس باشد.

نانولوله‌ها و فولرن‌ها مثال جالبی از مواد جدید ساخته شده از شبکه اتم‌های کربن هستند. این مواد ماکرومولکول‌هایی با ساختار و خصوصیات پیچیده و سیم‌هایی با قدرت غیرمعمول را منجر شده‌اند. تکنیک ساخت بر اساس تکرار شیمیایی است و یکی از چالش‌های نانوفناوری کنترل تکنیک‌های تکرار برای ساخت عمومی محصولات است.

تشخیص صورت برای نظارت امنیتی یک مشکل واقعی و مهم است که نیاز به سرعت تشخیص تصویر اپتو الکتریکال، فشرده‌سازی، تحلیل، ذخیره‌سازی و فراخوانی داده‌ها دارد. هر راه‌حلی نیازمند سیستم‌های نوری با کیفیت بسیار بالا، الکترونیک رایانه‌ای بسیار یکپارچه و اجزای پیرامونی است که به صورت جدا در ابعاد چند نانومتر یا حداقل با دامنه تغییرات در حد نانومتر ساخته شده‌اند.

مثال دیگری از شیمی در مقیاس نانو، کاتالیست‌ها هستند. این زمینه واکنش‌هایی را در سطح بین مولکول‌ها و در فازهای مختلف شامل می‌شوند و به تنهایی نمی‌توانند در شیمی حالت جامد یا سینتیک‌های واکنشی شناخته شوند.

طیف‌سنجی جرمی یون ثانویه امروزه تنها تکنیک مناسب برای آنالیز دوپنت‌ها در صنعت ساخت نیمه‌هادی‌ها می‌باشد. با توسعه در این زمینه، دستگاه‌هایی مانند "ترانزیستور" ممکن است به زودی با سطح ویفر سیلیکونی زیر ۱۰ نانومتر ساخته شوند. در حال حاضر طیف‌سنج جرمی یون ثانویه با محدودیت‌های زیادی مواجه است که ممکن است آن‌ها را پشت سر بگذارد یا نتواند بر آن‌ها غلبه کند، به همین دلیل در چنین مواردی، داده‌های کمّی در اختیار نیست. در نتیجه در این زمینه تجهیزات جدیدی برای مشخصه‌سنجی مواد نانو مورد نیاز است.

به شکل مشابه، یک پوشش مرسوم لایه‌ای روی شیشه، ZnO/Ti/Cr/Ag/Ti/ZnSnOx/TiO2/Glass با لایه کلی بیش از ۲۰۰ نانومتر و لایه‌های دیگری نظیر نقره با ضخامت کمتر از ۵ نانومتر است. هیچ ابزاری نمی‌تواند ترکیب عنصری هر کدام از این لایه‌ها را با دقت و وضوح کافی نشان دهد.

برای ایجاد تغییر کلی در زمینه "مواد"، مثالی بیان می‌شود که نیازمند بررسی در سطح نانومتر است. این مثال در زمینه بیماری آلزایمر است. دانشمندان معتقدند که آلمینیوم عنصری شیمیایی است که موجب این بیماری می‌شود. برخی از دانشمندان نیز مخالف هستند. در زمان حاضر، ابزارهای موجود دقت کافی برای تحقیق در این مسئله را ندارند. بنابراین لازم است که عناصر در اندازه نانومتر با دقت بالا درون سلول‌ها بتوانند شناسایی شوند.

۳. نانوفناوری نیازمند اندازه‌گیری و آزمایش است

برای نشان‌دادن این مسئله که هر محصول یا فرایند ساخت به یک تقاضای عملکردی مشخص می‌رسد، اندازه‌گیری کمّی با قابلیت ردیابی آن تا یک مقیاس متروولوژی موافقت‌شده لازم و ضروری است. از این رو برای آوردن فناوری نانو به درون یک کسب‌وکار موفق، نیاز است که دسترسی به ابزارهای متروولوژی مرتبط تسهیل شود تا در زمینه‌های گسترده‌ای، امکان اندازه‌گیری سه‌بعدی در مقیاس اتمی فراهم شود. اندازه‌گیری در تمام کمیت‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی مهم و در سطوح مختلف توسعه نانوسیستم‌ها، از طراحی، ارزیابی نمونه اولیه تا اجرا مورد نیاز است.

از این رو، نانومتروولوژی باید به عنوان یک بخش ضروری و جدایی ناپذیر از فناوری نانو دیده شود. نانومتروولوژی باید با توسعه علوم و فناوری نانو، به صورت هم‌زمان و یکپارچه توسعه بیابد.

برای به کار بردن یک متروولوژی عملی در زمینه فناوری نانو، به عنوان مثال، اندازه‌گیری در محدوده نانومتر با قابلیت ردیابی تا واحدهای SI (طول، زاویه، کیفیت ماده و نیرو)، لازم است استانداردهای اندازه‌گیری عملی ایجاد شود. تاکنون زمینه‌هایی که شناسایی شده‌اند و در ضمیمه ۱ به آن‌ها اشاره شده است، عبارتند از:

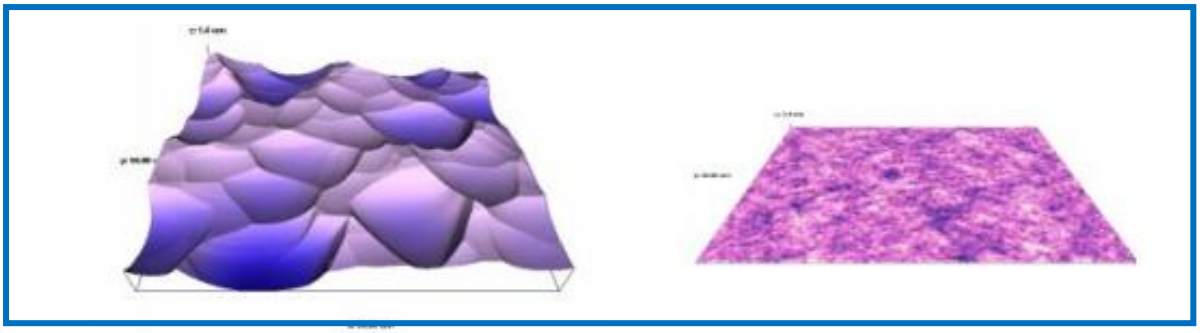
- استانداردهای نوشته شده
- ابزار دقیق علمی
- روش‌های اندازه‌گیری تایید شده
- استانداردهای اندازه‌گیری
- آنالیز شیمیایی
- زیست‌شناسی

توجه به این نکته مهم است که فناوری نانو به یک قدرت و اقتصاد جهانی تبدیل خواهد شد. از این رو هم استانداردهای نوشته شده و هم استانداردهای اندازه‌گیری، باید با یک اجماع جهانی ایجاد شود. به طور خاص، تلاش‌ها در ایالات متحده و اتحادیه اروپا باید هماهنگ شود.

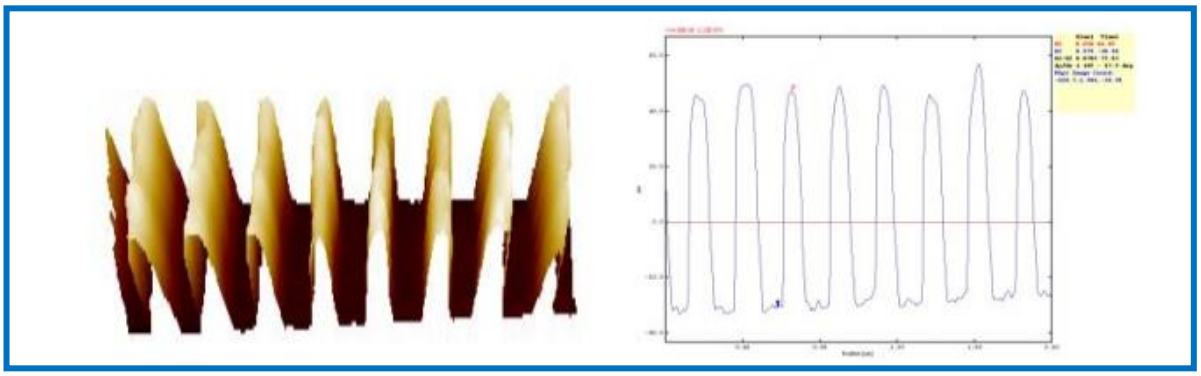
گفتن این نکته هم مهم است که نانومتروولوژی بدون فناوری نانو بی معنی است. بدون یک فناوری که نیازمند اندازه‌گیری باشد، نیازی به متروولوژی نیست. اما بیش از آن، نانومتروولوژی عملی، به درجه بالایی از بلوغ فناوری برای ساخت استانداردهای عملی وابسته است.

سه مثالی که از مهندسی دقیق، الکترواپتیک و زیست‌فناوری زده شد، مفید بودن نانومتروولوژی را بیان می‌کند:

شکل ۴ تصویر یک میکروسکوپ پراب پویشی از یک صفحه ۵۰ میکرومتر*۵۰ میکرومتری از سطح ویفر سیلیکونی را بعد از برش اولیه سطح شمش الماس (سمت چپ) نشان می‌دهد. در این مرحله طول برش ۱.۸ میکرومتر است. بعد از قلم‌زنی و صیقل‌دادن، سطح الماس (۱۰ میکرومتر*۱۰ میکرومتر*۳.۴ نانومتر) طبق شکل سمت راست، با یک زبری ۰/۲۴۷ نانومتر نمایان می‌شود. زبری یک پارامتر رقابتی برای سازندگان این ویفر است، زیرا این زبری برای ساخت پوشش بعدی که روی تراشه ایجاد می‌شود، حائز اهمیت است.



شکل ۴. برش الماس و سطوح شفاف سیلیکونی



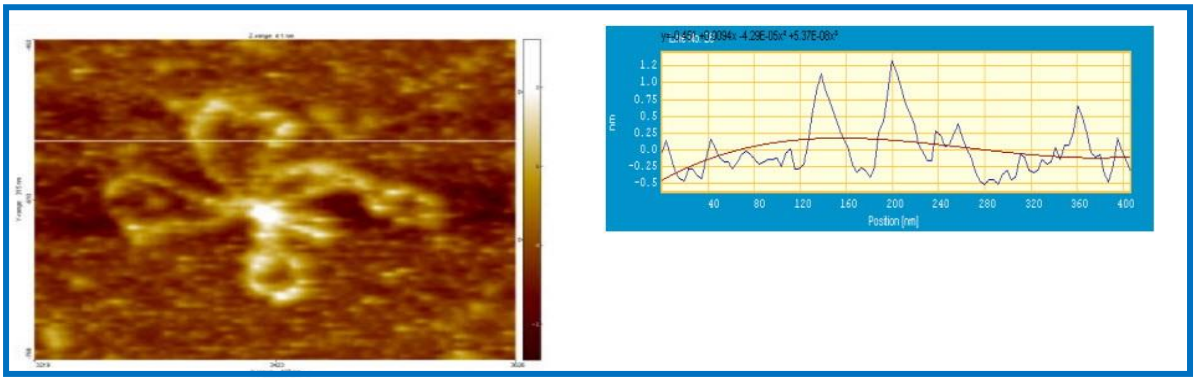
شکل ۵. برآمدگی لاک نوری روی ویفر سیلیکونی، حدود ۸۰ نانومتر طول و حدود ۱۰۰ نانومتر عرض داشته و فضای بین، حدود ۲۵۰ نانومتر است. روند سمت چپ، جزئیات اهمیت عملکرد دستگاه را نشان می‌دهد.

مواد الکترو–نوری با کیفیت، با روش‌های لیتوگرافی نور نشان داده شده در شکل ۵ ساخته می‌شوند و با میکروسکوپ پراب پویشی اندازه‌گیری می‌شوند. جزئیات پروفایل‌ها (سمت چپ تصویر) برای کیفیت عملکردی دستگاه و تصحیح کمّی اندازه‌گیری حائز اهمیت است. این کار توسط یک میکروسکوپ پراب پویشی انجام می‌شود که با قابلیت ردیابی تا متر کالیبره شده است.

پلاسمیدهایی که در باکتری‌ها وجود دارند، از مولکول‌های DNA با مارپیچ دوگانه گره‌دار تشکیل شده‌اند. یک اندازه‌گیری با قابلیت ردیابی، همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، اجازه تخمین دقیق طول هر DNA را می‌دهد که در ازای آن، تعداد جفت بازها مشخص می‌شود. برایDNA های ناشناخته، اندازه‌گیری کمّی طول، به ما می‌گوید که آیا از مارپیچ دوگانه تشکیل شده است یا خیر.

چون فناوری نانو یک فناوری پیچیده است، به بسیاری از زمینه‌های مختلف نشان داده شده در شکل ۱ و جدول ۱ ضمیمه ۲ مرتبط است. به نظر می‌رسد که فرموله‌بندی یک سیستم مناسب از استانداردهای نوشته شده، روش‌های معمول و قواعد درک معمول از بندها، توصیفات، کیفیت و کمیتی‌بودن اطلاعات و غیره، در سریع‌ترین زمان ممکن، ضروری است. از این رو استانداردهای نوشته‌شده ضروری هستند و باید از ابتدایی‌ترین استانداردهای بین‌المللی یا حداقل اروپایی باشند.

تا جایی که امکان دارد، این استانداردها باید از فرمت یک استاندارد موجود برخوردار باشند – همان طور که به عنوان مثال، مشخصه‌های ابعادی، باید در فرمت جی‌پی‌اس) مشخصات محصول ژئومتری ([v]اجرا شوند. در کل به نظر می‌رسد که ایجاد یا پشتیبانی از یک سری تحقیقات پیش‌اصولی [vi]که به وضوح یک بُعد اروپایی داشته باشد، ضروری است.



شکل ۶. بررسی‌های میکروسکوپ پراب پویشی از پلاسمید DNA روی سطح میکا

قابل اعتماد بودن نتایج اندازه‌گیری به شدت به تجربه به دست آمده از همکاری و شناخت از کار همکاران وابسته است.

مشخص شده است که استانداردهای اندازه‌گیری و تجهیزات استاندارد، برای ایجاد اعتماد و اطمینان، معیارهای مهمی‌هستند.

این مسئله، چالش خاصی به نظر می‌رسد و با سختی‌های متعددی روبرو است. علت این امر، وسیع‌بودن دامنه نانومتر (از ۰.۱ تا ۱۰۰ نانومتر) از دنیای اتمی تا مکانیک کوانتومی است. این بازه گذار، مزوسکوپیک نامیده می‌شود که در آن، توصیف دقیق برهم‌کنش حسگرها و اندازه‌گیری بسیار دشوار است. اما این مسئله، یک پیش‌شرط ضروری برای ایجاد نتایج اندازه‌گیری قابل اعتماد و صحیح از برهم‌کنش است.

استانداردهای فیزیکی برای زبری سطح، ویژگی‌های زیرسطحی ، شکل (مسطح‌بودن، کروی‌بودن و همواری سطح) شیشه، سرامیک و فلز به شدت لازم و ضروری است.

علاوه بر این استانداردها (برای ساخت مواد غیر آلی)، وجود استانداردهای معادل برای فناوری نانو در تمام انواع فرایندهای مواد آلی شامل سلول‌های زنده (تولید، پایش و اندازه‌گیری) در موارد خاص بسیار مطلوب هستند.

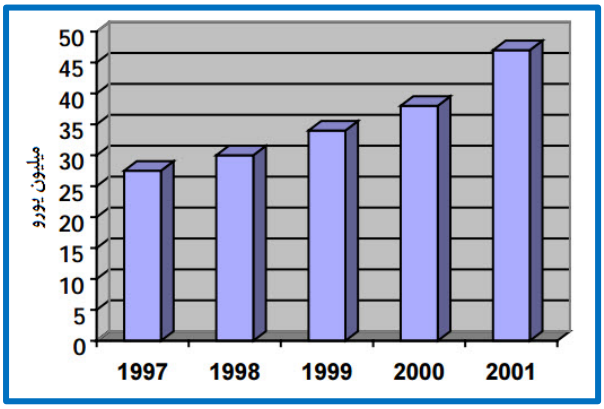
وقتی مشخص می‌شود که استانداردهای مرجع قابل فهم نیستند، آیا ممکن است که با اندازه‌گیری‌های تایید اعتبارشده و روش‌های آزمایش تعویض شوند؟ کدام کمیت‌های فیزیکی و شیمیایی باید به صورت کمّی شناسایی و اندازه‌گیری شوند؟ اصول فیزیکی بهینه برای اندازه‌گیری رفتار عملکردی درخواست‌شده چیست؟ یک فرایند نانوفناورانه چه زمانی باید با یک اندازه‌گیری و/یا مشاهده همزمان با خود فرایند کنترل شود؟

۴. منابع و تاسیسات در دسترس برای حل‌وفصل نیازها

چندین ایالات عضو و چند کشور داوطلب ، برنامه‌ها و شبکه‌هایی را برای فناوری نانو ایجاد کرده و به صورت فعالی این پروژه‌ها را حمایت مالی می‌کنند. از جمله این برنامه‌ها می‌توان به نانومترولوژی اشاره کرد. به عنوان مثال، شکل ۷، حمایت مالی سالانه دولت آلمان از پروژه‌های فناوری نانو را در بازه زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۱ نشان می‌دهد.

با این حال، یک روش منسجم اروپایی برای یک توسعه جهت‌دار در سراسر اروپا ضروری است. این در حالی است که فعالیت عمومی M&T در برنامه پنجم چارچوب اروپایی و برنامه‌های قبلی آن از جمله برنامه چارچوب سوم و چهارم، پروژه‌های زیادی را در زمینه فناوری نانو حمایت مالی کرده است. در برخی موارد خاص، یک زنجیره قابل ردیابی از اندازه‌گیری‌های ابعادی در بازه نانومتر، اجرا شده است.

نانوفروم در قالب پروژه COST چالش‌ها را به صورت خاص درون علوم نانو و علوم زیست‌مولکولی فرموله‌بندی کرده است. نانوفروم، هسته گروه مشاوره‌ای نانواِستَک را تشکیل می‌دهد که در فرایند فرموله‌بندی فرایندها برای برنامه چارچوب ششم قرار دارد. نانوفروم اخیراً مترولوژی را در محدوده کاری خود گنجانده است.



شکل ۷. حمایت آلمان از فناوری نانو

بودجه سالانه دولت آلمان، برای حمایت از پروژه‌های فناوری نانو در شکل ۷ به نمایش در آمده است. همکاران صنعتی دیگر، تقریباً یک مقدار معادل پول را تهیه می‌کنند.

سازمان‌های اروپایی مانند یورومِت ، یوروکِم ، یورولب و یوسپن درحال شناسایی مفاهیم مختلف اندازه‌گیری و آزمایش نانو هستند. یورومت در حال بررسی دقیق قابلیت‌های در دسترس اندازه‌گیری و پیش‌بینی نیازهاست. این سازمان، یک کارگاه جهانی را برنامه‌ریزی کرده است. در این کارگاه پروژه‌های یورومت فرموله‌بندی می‌شوند تا بتوان آن‌ها را آغاز نمود. با این وجود این پروژه‌ها تاکنون حمایت مالی نشده‌اند . یوسپن نیز یک برنامه آموزشی برای اجرا در نظر دارد که شامل نانومترولوژی است. این برنامه از طریق برنامه چارچوب پنجم حمایت مالی می‌شود.

۵. پیشنهاد یک برنامه کاری

اندازه‌گیری و آزمایش نانو، مثالی واضح از موضوعات علم و فناوری است که باید درون محیط تحقیقات اروپایی (ERA) بررسی شود. این بررسی می‌تواند سنگ‌بنایی در توسعه‌های بعدی به منظور رقابت‌پذیری اروپایی باشد. باید به شرایط پیش‌بینی‌شده در برنامه چارچوب ششم مانند موسسات مجازی و مراکز عالی توجه خاصی شود، همچنین مقدار بودجه کافی باید برای اندازه‌گیری و آزمایش در برنامه پیش‌بینی‌شده فناوری نانو مهیا شود. از این رو، در ادامه ما یک برنامه کاری بر اساس نیازهای پیش‌بینی‌شده و همچنین منابع در دسترس کنونی چیده‌ایم. پیشنهاد می‌شود که جنبه‌های زیر در نظر گرفته شوند:

کارگاه

در اولین فرصت باید یک کارگاه ایجاد شود تا دیدگاهی جامع و فراگیر در مورد وضعیت اندازه‌گیری و آزمایش در بازه نانو به دست آید. هر چه دانش و فناوری نانو پویاتر توسعه یابد، ممکن است در کارگاه به جلساتی در رابطه با موضوعات اختصاصی نیاز باشد که در آن‌ها دانشمندان و سایر شرکت‌کنندگان، تجربیات خود را مبادله نمایند.

فهرست

جمع‌آوری یک فهرست از فعالیت‌های کنونی در اروپا می‌تواند بسیار مفید باشد. به صورت خاص، با تهیه این لیست می‌توان فعالیت‌های کنونی را با نیازهای پیش‌بینی‌شده مقایسه کرد.

سایر فعالیت‌ها

توسعه یک نقشه‌راه می‌تواند جهت نشان‌دادن مسیری برای توانایی‌های مورد نیاز اندازه‌گیری، برای یک کاربرد درون‌فرآیندی و پسافرآیندی، در اصول گوناگون فناوری نانو مفید واقع شود.

۶. پیشنهادات

HLEGبه کمیسیون توصیه می‌کند که مقدار قابل توجهی از حمایت مالی برای فناوری نانو را به صورت خاص، صرف اندازه‌گیری و آزمایش مورد نیاز مرتبط (برای دستیابی به فراخوان‌های باز برای پروپوزال) کند. به صورت هم‌زمان، نانومترولوژی درون ERA باید با اتکا بر شبکه‌ها و مراکز عالی اروپایی موجود بررسی شود. همچنین انتشار سیستماتیک دانش حاصل نیز مطلوب است.

اقدامات خاص باید با مطالعات و تحقیقات حمایت شوند تا بتوانند با ورود به زمینه‌های مختلف، اثرات بسیار خوبی در سطح اروپایی بگذارند. این شناسایی‌ها باید در نظر گرفته شده و بازتاب‌کننده جنبه‌های مختلف جهانی باشند – به عنوان مثال، شرایط و تمایلات در سایر مناطق مانند آمریکا و آسیای شرقی دیده شوند. شرایط ایالات متحده باید به طور خاص جالب باشد. با این حال، دانش و فناوری در روسیه، اروپای میانه و شرقی باید مورد بحث و اصلاح قرار گیرد.

سازمان‌های اروپایی مانند یورومت، یوروکم، یورولب و یوسِن باید در این زمینه درگیر شوند. سایر سازمان‌های محلی و ملی مانند موسسه ملی استاندارد و فناوری از ایالات متحده نیز درگیر می‌شوند. ارتباط با اداره بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها نیز باید برقرار شود. این اداره دو طرح در زمینه نانومترولوژی راه‌اندازی کرده است.

ضمیمه ۱ مثال‌های بیشتری از نیاز به نانومترولوژی

مثال‌های اول در ارتباط با کنترل کیفیت تولید دارو هستند. در این موارد امکان جایگزینی آزمایش اثرات دارویی بر روی حیوانات زنده از طریق "محصولات زیستی به خوبی مشخصه‌سنجی‌شده "نیز وجود دارد. برای دستیابی به مشخصه‌سنجی‌های مذکور با اندازه‌گیری نانوتحلیلی، باید رویه‌های اندازه‌گیری استاندارد بسیار دقیق و حساس وجود داشته باشد.

لیتوگرافی با اشعه شدید ماوربنفش نیاز به اجزای مکانیکی بزرگ دارد و مولفه‌های نوری اشعه ایکس به خصوص برای زبری سطح آینه‌های اشعه ایکس، باید با دامنه تغییرات مناسب در نانومتر، و تا اندازه‌ای زیر نانومتر، تولید شود. صنایع اروپایی – حداقل در تجهیزات لیتوگرافی – در مقابل یک رقابت جهانی قرار گرفته‌اند. علائم مشخصی وجود دارد که نشان می‌دهد نبود فناوری و تجهیزات اندازه‌گیری مناسب، مشکلاتی را برای فرآیندهای تولیدی نویددهنده – به عنوان مثال ماشین اشعه یونی و فناوری‌های مشابه – ایجاد کرده است.

ماشین‌ها نیاز به اندازه‌گیری شکل، جابه‌جایی و فاصله خواهند داشت. این موارد باید به نقاط یا زوایای کوچک) یک نوع ماشین اندازه‌گیری هماهنگی و مختصات در مقیاس نانو (مرجع تعریف‌شده، ارجاع داده شوند. اکثریت مواردی که اکنون تحت نظر ۲ تجهیز علمی مشخص شده‌اند، به تکنیک‌های تحلیلی برای مشاهده اشیاء با ابعاد نانومتر وابسته هستند. اما برای ساخت و تولید مجدد اشیاء در مقیاس نانو، به چیزی بیشتر از این نیاز است. پیش از این نمونه‌های اولیه ماشین‌های اندازه‌گیری وجود داشته‌اند، به عنوان مثال Zeiss ، اما همچنان نیاز به نمونه‌های اولیه بسیار بیشتری وجود دارد. به طور مثال، کاوشگرها (پراب) و چشنده‌ها (تِسترِ) به همراه نرم‌افزارهای راهبردی نیاز به توسعه دارند.

در تحلیل شیمیایی سطح، نیازها و مقتضیات گسترده‌ای از منظر استانداردهای مستند و برخی جنبه‌های مترولوژی درون برنامه‌های تجاری برای ISO Technical Committee 201 (در حوزه تحلیل شیمیایی سطح) وجود دارد. استانداردهای مستند زیادی از این کمیته فنی می‌توان یافت. برخی از این استاندارد، نیازهایی را در فناوری نانو شناسایی می‌کنند.

نیازهای زیر در طول نگارش این گزارش یافت شده‌اند. این موارد مطابق با هدینگ‌های بخش سوم، بخش‌بندی شده‌اند.

•استانداردهای نوشته‌شده

این مورد می‌تواند در نهایت شامل فرمت عمومی مشخصات محصول ژئومتری (GPS) شود.

•تجهیزات علمی. فناوری نانو به طور همزمان، سازوکار و تجهیزات کاملا جدیدی را برای اندازه‌گیری پدیده‌های جدید در مقیاس زیراتمی پیشنهاد می‌دهد. اروپا در این حوزه به صورت فعال کار کرده است. این موضوع، شامل موارد زیر می‌شود:

میکروسکوپ‌های پراب پویشی چندین تولیدکننده در اروپا، آمریکا و ژاپن دارند. تجهیزات جدید باید شامل میکروسکوپ نوری روبش میدان نزدیک شوند. این نوع میکروسکوپ هم اکنون در آلمان تولید می‌شود. تکنیک میکروسکوپ‌های پراب پویشی موازی برای بررسی جزئیات میکروسکوپ.

طیف‌سنجی جرمی یون ثانویه (سیمس) استاتیک، یک تولیدکننده در آمریکا، انگلستان و آلمان دارد. بخش مغناطیسی سیمس (برای شکل و فرم‌دادن عمیق در نیمه‌هادی): تولیدکننده در فرانسه، آمریکا و آلمان.

طیف‌سنجی فوتوالکترون پرتو ایکس، در سوئد، آلمان و انگلستان (همچنین ژاپن و آمریکا) تولید می‌شود.

اوژه در انگلستان، ژاپن و آمریکا ساخته می‌شود.

تکنیک میکروسکوپ الکترونی پویشی برای توسعه‌های بیشتر به منظور اعمال اندازه‌گیری‌های ابعادی از نسبت ابعادی بالا.

میکروسکوپ الکترونی عبوری، در هلند، آلمان و ژاپن تولید می‌شود.

تداخل‌سنج اشعه ایکس در آلمان و ایتالیا تولید می‌شود.

بیضی‌سنج در فرانسه، آلمان و آمریکا تولید می‌شود.

لیتوگرافی شدید (EUV) و خلاء (VUV) فرابنفش

میکروسکوپ تداخلی لیزری، نظیر میکروسکوپ هم‌مرکز پایشی لیزری . این میکروسکوپ به عقیده ما برای اندازه‌گیری‌های غیرتخریبی ضخامت از پوشش‌های نازک، جالب و نویدبخش است.

فناوری اشعه یونی متمرکز .از آنجایی که فناوری اشعه یونی متمرکز "بازکردن بُعد سوم" را ممکن می‌سازد، در لیست "تجهیزات علمی" قرار دارد. این روش ایجاد بخش‌های متقاطع از نزدیکی هر نمونه را امکان‌پذیر می‌کند و در تهیه نمونه برای میکروسکوپ الکترونی عبوری و میکروسکوپ الکترونی پویشی بسیار بیشتر استفاده می‌شود. ترکیب میکروسکوپ الکترونی عبوری و اشعه یونی متمرکز، می‌تواند به طور مثال، نمونه‌های لایه‌ای با وضوح زیر نانومتر را آماده و اندازه‌گیری کند.

اندازه‌گیری جابه‌جایی و زوایای کوچک، برای جابه‌جایی و دستکاری‌های نانویی لازم است (ساخت مراحل جابه‌جایی نانویی در انگلستان و آلمان، ساخت سیستم‌های اندازه‌گیری جابه‌جایی در اروپا و آمریکا).

تجهیزات اندازه‌گیری بافندگی سطح، از لیست تجهیزات علمی حذف شده‌اند (تولیدکنندگان انگلستان، آلمان، آمریکا و سایرین). تجهیزات برای اندازه‌گیری‌های با نیروی کم و سیستم‌های اندازه‌گیری هماهنگی و مختصات میکرو/نانو.

•روش‌های اندازه‌گیری تایید اعتبار شده

مترولوژی ماسک

مترولوژی بر روی ویفر

آزمایش و توسعه نرم‌افزار کالیبراسیون برای نانومترولوژی

•استانداردهای اندازه‌گیری

استانداردهای سطحی نظیر استانداردهای زبری و صافی برای اپتیکس و صفحات فلزی

استانداردهای ضخامت برای پوشش و رنگ‌آمیزی، قابل کاربرد در پروفایل‌سنجی عمق برای انجام میکروآنالیز

روش‌هایی برای اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های نازک از مقیاس مولکولی تا ۱۰ میلی‌متر، به خصوص با روش‌های غیرتخریبی برای لایه‌های پلیمری شفاف

مشخصه‌سنجی توپوگرافی و نانوساختارها بر روی سطح، به خصوص خون یا بافت با سطوح سازگار

مشخصه‌سنجی اصلاح سطح، در مقیاس نانو یا پروفایل‌سنجی عمق
استانداردهایX ، Y و Z برای استفاده از مهندسی دقت و میکروالکترونیک و زیست‌شیمی
استانداردهای کاربردی در اشکال میکرو و سایر روش‌های تعیین خواص مکانیکی، نظیر خاصیت کشسانی
استانداردهای اندازه ذرات
استانداردهای نیروی دقیق برای اندازه‌گیری در بازه نانونیوتن
مقیاس‌های نرم برای بافت سطحی و نرم‌افزارهای بازرسی مشابه به منظور کالیبراسیون ماشین‌های اندازه‌گیری مختصات و هماهنگی میکرو/نانو برای سایر تجهیزات و ساختارهای سه‌بعدی
نانومترولوژی جدید کمیت‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی ماکروسکوپیک.
علاوه بر این، نانومترولوژی، استفاده از نانوسیستم‌هایی را پوشش می‌دهد که اندازه‌گیری‌های بسیار دقیقی از کمیت‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی ماکروسکوپیک را ممکن می‌سازد.
استانداردهای الکتریکی جدید بر مبنای تجهیزات نانویی منفرد) نظیر – (SETطرح نانومترولوژی الکتریکی یورومِت را ببینید.
دماسنج‌های جدید بر مبنای بلوک کولن در اتصالات تونلی
مغناطیس‌سنج آرایه جوزفسون
سایر حسگرهای جدید
توزیع اندازه حفرات و تخلخل در غشاهای فیلتراسیون.
•تحلیل شیمیایی

قابلیت‌ردیابی نتایج اندازه‌گیری که توسط یک آزمایشگاه بر روی تراشه آماده شده است؛ همچنین هنگامی که تمایل به استفاده مجدد از تراشه وجود دارد، قابلیت تولید مجدد نیز باید نشان داده شود.
سطح کاتالیست و عاملیت آن
اندازه‌گیری تاثیر ساختار پیکربندی سه‌بعدی آنزیم در ارتباط با اثربخشی آن
اندازه‌گیری ساختار و خواص فولرن و نانولوله‌ها برای فهم و پیش‌بینی رفتار آن‌ها و مطالعه خواص بهبودیافته
وضوح فضایی بهتر
وضوح عمق بهتر
حساسیت بهبودیافته
اطلاعات شیمیایی بسیار بهتر
ساده‌سازی اطلاعات مولکولی پیچیده
اطلاعات زیست‌ابعادی
تحلیل ساختار و جایگاه در سطح اتمی
روش‌های غیرخلاء، روش‌هایی در هوا و آب
روش‌های بسیار سریع
•فناوری زیست‌مولکولی
مورفولوژی سطحی از غشاهای حسگر گازی خون
ساختار سطحی سرسوزن
ساختار سطح و زیرسطحی کاتتر و چسب پوست) بلوک‌های کوپلیمری
توزیع سایت‌های فعال (مولکول‌های گیرنده) در چشنده‌های تشخیصی (زیست‌حسگر، زیست‌سنجش)

ضمیمه ۲ اثرات اجتماعی-اقتصادی فناوری نانو

متخصصان متقاعد شده‌اند که فناوری نانو یکی از مهم‌ترین فناوری‌های یک کشور محسوب می‌شود. این فناوری پتانسیل‌های اقتصادی بسیار زیادی دارد؛ اما در کنار انتظارات خوش‌بینانه، عدم‌قطعیت و ترس‌هایی را نیز به همراه دارد. علت این ترس‌ها، بالابودن سطح پیچیدگی و نیاز به دانش زیاد در این رابطه، به منظور درک زمینه‌های فیزیکی آن است.

(از میان تمام عوامل) محرک‌های زیست‌محیطی فناوری نانو عبارتند از:

پزشکی، دارو، زیست‌شناسی

داروهای جدید و مواد فعال) شامل مواد آرایشی و مواد فیلتر سبک (سطح‌های چسبنده پزشکی (مانند باندهای ضد آلرژی)؛ داروها و مواد فعالی که می‌توانند به صورت موضعی تعیین غلظت شوند؛ کاشت‌های سطحی زیست‌سازگار؛ حسگرهای چندکاره) مانند مواد مورد استفاده در فناوری‌های زیست‌محیطی/پزشکی برای آنالیز.(DNA

ساخت دستگاه (دستگاه‌های با دقت بسیار زیاد، سیستم‌های تحلیل و موقعیت‌یابی)؛ اپتیکس) اپتیکس گامی، غیرکروی‌ها، اپتیکس اشعه ایکس، آینه‌ها(؛ بستر و ویفرهای جلا داده‌شده؛ بالش‌های کوچک‌شده سایشی (احتمالاً بدون روان‌کننده.)

شیمی، مواد

سرامیک‌ها، رنگ‌دانه‌ها، پودرها، سیم‌ها و ... (سبک‌تر، مقاوم‌تر، شناورتر، قابل تعویض)؛ بازدارنده‌های خوردگی و مواد مقاوم در برابر خوردگی، فناوری‌های چسب‌سازی بدون کلراید (از جمله در صنعت کیف‌سازی) و فناوری‌های جوش‌کاری جدید، لایه‌های عملیاتی) عایق حرارتی، ضدچسبندگی، آنتی‌استاتیک(غشا برای جداسازی مواد) تصفیه آب، تکنیک‌های تغذیه‌ای، دیالیز، یونیک(کاتالیست‌های ساختاریافته با تبدیل بهینه برای مواد مضر (همچنین برای خودروها).

حافظه داده بسیار فشرده (بیت) و پردازنده‌های کوچک‌شده؛ کامپیوترهای سریع و قابل حمل و نمایشگرهای بی‌نظیر) مانند نمایشگرهای نشر میدان(؛ سلول‌های خورشیدی، باتری‌ها و سلول‌های قابل احتراق جدید؛ اجزای اپتوالکترونیک) لیزرها، جفت‌کننده‌های نوری و(...؛ محاسبات موازی بسیار سریع (محاسبات کوانتومی، تشخیص چهره).

فناوری خودرو

اجزای قابل حمل و با ساختار ساده، مایعات رئولوژیکی الکتریکی و مغناطیسی (مانند بافرها)؛ پخش‌کننده میدانی تخصیص‌یافته برای سیستم‌های احتراق و تهویه؛ رنگ‌آمیزی (اثرات رنگ، خراش و مقاومت در برابر پوشش، تهویه هوا، الاستیک) مواد چسبناک (چسب و فرآیندهای اتصال، چسبندگی لایه‌ای).

زیست‌فناوری: دانش برای زندگی بهتر

به طور کلی اروپا، یکی از مناطق پیشتاز در زیست‌فناوری است. آلمان یکی از نیرو محرکه‌های اروپاست که به سمت نوآوری‌های مبتنی بر دانش و فناوری حرکت می‌کند.

در آلمان به تنهایی، بیش از ۵۰۰ بنگاه کوچک و متوسط وجود دارد که با زیست‌فناوری درگیر شده‌اند. تشکیلات زیست‌فناوری آلمانی، در کل ۲۰۰ هزار نفر را استخدام کرده است .سوددهی سالیانه آن‌ها بیش از ۴۰ میلیارد یورو و سرمایه‌گذاری آن‌ها در تحقیق و توسعه فنی حدود ۵ میلیارد یورو است. این که بخش قابل توجهی از منابع در دسترس برای زیست‌فناوری، به تعداد کمی از شرکت‌ها و به صورت خاص در صنایع دارویی اختصاص یافته است، در حال حاضر در آلمان بسیار عادی و معمولی است.

اما رشد سریع زیست‌فناوری در آلمان به دلیل رشد سریع در تعداد بنگاه‌های کوچک و متوسط است که تحقیقات با سرمایه فشرده‌ای را انجام می‌دهند و با آن محصولات و فرآیندهای بسیار نوآورانه‌ای را تولید می‌کنند که بیشتر به شرکت‌های بزرگ می‌فروشند.

تولید بهینه محصولات زیست‌فناوری به درصد بالای فرآیندهای نانوفناورانه بستگی دارد.

شکل ۱، طرح اولیه‌ای از توسعه کلی از گذشته نزدیک و آینده پیش‌رو است و تغییرات الگویی بی‌نظیری را نشان می‌دهد که به صورت لحظه‌ای رخ می‌دهد. به عنوان مثال، ادغام کوچک‌سازی، عملیاتی‌کردن و افزایش پیچیدگی سیستم هنگامی که با فناوری نانو مواجه می‌شویم، فناوری‌هایی را ایجاد می‌نماید.

در اینجا باید ذکر شود که فناوری نانو باید به عنوان یک فناوری فعال‌کننده دیده شود که فناوری‌های دیگر را توانا می‌کند یا حداقل آن‌ها را بهینه‌تر می‌نماید.

مفاهیم اجتماعی

مفاهیم اجتماعی ممکن است به مواردی مانند مسائلی مرتبط با جامعه تقسیم شود – ممکن است مسائل به صورت جهانی، اروپایی، ملی یا مرتبط‌تر به افراد تقسیم شود.

فرصت‌های اجتماعی برای ایجاد شرایط بهتر زندگی توسط کاربرد در حال افزایش فناوری نانو برای مسائل زیر دیده می‌شود:

- محیط زیست تمیزتر
- بهره‌برداری کمتر از منابع طبیعی
- تولید و ذخیره بهتر انرژی
- فرآیندهای ساخت بهتر و ایمنی فرآیند
- افزایش تبادل اطلاعات و ارتباطات بهتر
- درمان پزشکی بهتر
- تشخیص‌های قابل اعتمادتر
- درمان‌های خاص‌تر

جدول ۱ که در ادامه آورده شده است، چند نمونه برای روشن‌شدن این زمینه‌ها ارائه می‌دهد.

نگرانی اجتماعی

گذشته از فرصت‌های اقتصادی و اجتماعی که فناوری نانو مانند هر فناوری جدیدی، ارائه می‌دهد، این فناوری نگرانی‌ها و ترس‌هایی عمومی را نیز به دنبال دارد که قابل توجه هستند. مثال‌های این نگرانی‌ها عبارتند از:

حداقل یک مسئله شکایت به دادگاه در آلمان ارائه شده است که در ماه مارس ۲۰۰۰ بوده است. شخصی که در تلاش بود تا اجازه تولید نانوپودر را در محله خود بگیرد، توسط قانون از این کار منع شده است زیرا ممکن

بود انتشار این مواد مشکلاتی را ایجاد نماید. شکایت در اولین دادگاه بررسی و متوقف شد اما شکایت‌کننده از آنجایی که ریسک‌هایی برای سلامت خودش احساس کرده بود، می‌خواست این مسئله در دادگاه بالاتری بررسی شود.

ترس‌های شخصی در بین دانشمندان و مهندسان به بحث گذاشته شد و در این رابطه بحث شد که فناوری نانو هم می‌تواند مفید و سازنده باشد و هم اثرات مخربی داشته باشد. شکی نیست که چنین بحث‌هایی بسیار ضروری هستند.

در یک کارگاه که عمومی نبود و در سازمان علوم ملی ایالات متحده در سپتامبر ۲۰۰۰ برگزار شد، این معما به بحث گذاشته شد. بیشتر این کارگاه دو روزه بر رسالت فناوری نانو برای کمک به حل مشکلات اجتماعی مانند فقر و گرسنگی و موفقیت پزشکی برای مبارزه با بیماری‌ها و افزایش کلی سلامت انسانی تاکید داشت. اما در این کارگاه در مورد برخی از نگرانی‌های حول فناوری نانو هم بحث شد.

اکولوژی	بهره برداری از منابع	تولید انرژی
شیمی گزینش‌پذیر	طراحی مواد هدف‌دار	حافظه گازی
غشاهای کلوئیدی	خواص قابل تغییر مواد	سلول‌های فوتوولتاییک[97] از ترکیب نانوذرات
کاتالیست گزینش‌پذیر	مواد/لایه‌های جدید	باطری‌های فشرده و سلول‌های سوختی با سطح درونی بیشتر
حفاظت در برابر آلاینده حساس	ترکیبات با ساختار سبک‌تر و قابلیت حمل بهتر	
لایه‌های عملیاتی غیرسمی		
امنیت فرآیند	**سلامت**	**اطلاعات/ارتباطات**
رآکتورهای زئولیتی فشرده	غشای دیالیزی	نمایش مسطح
فناوری‌های تولید چسب جدید	داروهای مناسب	کتابخانه جیبی
حفاظت نسخه‌ها از کپی (CD، صورتحساب مالی)	جاگیری دقیق مواد در بدن	جفت‌شدن سیلیسیم/ ارگانیک
استاندارد تنظیم مقیاس اتمی	داروهای پیشگیرانه با مینی حسگرهای بسیار حساس	اجزای منطقی دیجیتال
فرآیندهای خود سازمانی	لایه‌ها و مواد زیست‌تطبیق‌پذیر	لیزر چند لایه‌ای[98]
رویه‌های فرآیندی بسیار دقیق‌تر	نانوماشین‌های درمانی	رایانه‌های فشرده بسیار سریع
کنترل کیفیت در مقیاس اتمی	آنالیز و دستکاری DNA (فناوری ژن)	سیم‌های کوانتومی/ الکترونیک‌های کوانتومی

جدول ۱. زمینه‌های بوم‌شناختی (اکولوژی)، تجاری و فنی مرتبط با فناوری‌های نانو