

کاربردهای فناوری نانو در صنایع ساخت حسگرهای آلودگی هوا



شناسنامه

ستاد توسعه فناوری های نانو و میکرو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

| | | | |
|----------------|--|-------------------------|-------------------------------|
| طراحی و اجرا: | توسعه فناوری مهرویژن | تلفن: | ۰۲۱-۶۳۱۰۰ |
| نظارت: | داود قرایلو | نمایش: | ۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰ |
| سندوق پستی: | ۱۴۵۶۵-۳۴۴ | پایگاه اینترنتی: | www.nano.ir www.INDnano.ir |
| پست الکترونیک: | IND@nano.ir | سال انتشار: | ۱۴۰۳ |
| نویسنده: | معصومه حشم فیروز: شرکت توسعه مهندسی الماس واره دانش | اینستاگرام نانو و صنعت: | @INDnano.ir |

محتوای های صنعتی و فناوریانه خود را از طریق پست الکترونیک و پایگاه اینترنتی نانو و صنعت (INDnano.ir) ارسال نمایید.

فهرست مطالب

| | |
|----|--|
| ۳ | مقدمه |
| ۳ | حسگرهای شیمیایی مبتنی بر نانومواد |
| ۵ | حسگرهای گاز مبتنی بر نانومواد |
| ۵ | انواع نانوحسگرهای گاز |
| ۵ | حسگرهای گاز مبتنی بر نانوذرات فلزی |
| ۵ | حسگرهای گاز مبتنی بر اکسید فلزی |
| ۶ | حسگرهای گاز مبتنی بر نانولوله کربنی |
| ۶ | حسگرهای گاز مبتنی بر پلیمر |
| ۸ | شرکت های فعال در حوزه نانوحسگر |
| ۸ | شرکت های فعال خارجی در حوزه نانوحسگرها |
| ۱۰ | شرکت های فعال داخلی در حوزه نانوحسگرها |
| ۱۰ | نتیجه گیری |
| ۱۱ | پی نوشت ها |
| ۱۱ | منابع |

مقدمه

افزایش فعالیت صنایع و گسترش شهرنشینی موجب انتشار آلاینده‌ها و ایجاد مشکلات محیط‌زیستی جدی شده است. انتشار آلاینده‌ها همچون یون‌های فلزات سنگین، گازهای سمی مختلف، ترکیبات آلی فرار (VOCs)، آفت‌کش‌ها و سایر آلاینده‌ها ناشی از فعالیت صنایع، وسایل نقلیه، فعالیت‌های خانگی و کشاورزی می‌تواند به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر اکوسیستم تأثیر بگذارد که این امر منجر به مسائل محیط‌زیستی جهانی مانند باران اسیدی، اثرات گلخانه‌ای، سندرم ساختمان بیمار و تخریب لایه ازن می‌شود که به شدت امنیت محیطی و سلامت انسان را تهدید می‌کند؛ بنابراین نظارت و کنترل مناسب این آلاینده‌ها برای جلوگیری از گسترش مسائل محیط‌زیستی ضروری است.

با انتشار آلاینده‌های هوا و با توجه به نتایج حاصل از مطالعات پیرامون اثر آلاینده‌های هوا بر سلامتی انسان و محیط‌زیست، اهمیت پایش آلاینده‌های هوا برای آگاهی از کیفیت هوا و اقدامات کنترلی مناسب جهت حفظ سلامت انسان بسیار مورد توجه سیاست‌گذاران و مسئولان قرار گرفته است. در راستای پایش و نظارت بر غلظت آلاینده‌های هوا پیشرفت‌های مؤثری صورت گرفته است که یکی از آن‌ها، کاربرد فناوری نانو در ساخت حسگرهای پایش آلاینده‌ها به ویژه آلاینده‌های گازی است.

حسگرهای شیمیایی مبتنی بر نانومواد

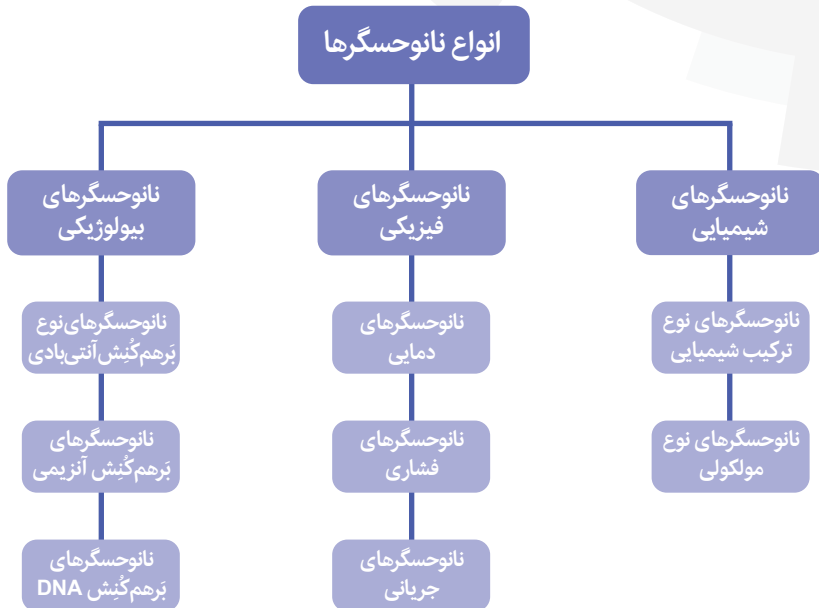
نانوحسگرها در حال حاضر جهان را متحول کرده‌اند و اثرات مهمی در علوم پزشکی، هوافضا و محیط‌زیست دارند. ویژگی‌های مواد در مقیاس نانو به طور چشمگیری با مواد در ابعاد بالاتر متفاوت است. در شکل ۱ یکی از طبقه‌بندی‌های انواع نانوحسگرها آورده شده است. نانوحسگرهای شیمیایی معمولاً برای تشخیص مواد مختلف در پایش آلودگی، توسعه دارو، آنالیز باقیمانده نمونه‌های محیطی و سنجش ترکیبات آلی فسفر استفاده می‌شوند. نانوذرات (NPS)، نانولوله‌ها (NT)، نانومیله‌ها (NRS)، نانوتسمه‌ها (NBS)، نانوسیم‌ها (NWS)، پلیمر و مواد زیستی نمونه‌هایی از مواد نانوساختار مورد استفاده در تولید نانوحسگرها هستند. به طور کلی حسگرهای شیمیایی باید دارای ویژگی‌های مهم زیر باشند:

- قابلیت تبدیل غلظت‌های شیمیایی به سیگنال‌های الکتریکی؛
- پاسخگویی سریع؛
- پایداری و توانایی پاسخگویی در مدت زمان طولانی؛
- ابعاد کوچک؛
- ارزان قیمت؛
- عملکرد اختصاصی، به عنوان مثال آن‌ها باید منحصرأ به یک آنالیت پاسخ دهند؛
- دارای حد تشخیص کم یا حساسیت بالا.

نانومواد مبتنی بر کربن رسانایی عالی، پایداری مناسب، هزینه کمتر و سهولت عملکرد سطحی دارند و برای کاربردهای الکتروتحلیلی متنوعی استفاده می‌شوند. این ترکیبات گروه عاملی سطحی کارآمدی را برای اتصال مواد آنالیت فراهم می‌کنند که منجر به عملکرد تشخیص خوب آن‌ها برای آلاینده‌های محیطی می‌شود. نانوذرات فلزی دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متمایز هستند که منجر به استفاده گسترده از آن‌ها در کاربردهای مختلف شده است. سنسجش با فلزات مختلفی از جمله طلا، پلاتین، پالادیوم، نقره، مس و... انجام شده است. دستگاه‌های سنسجش شامل حسگرهای نانوساختار مجزا، حسگرهای چند نانوساختار و حسگرهای فیلم نانوساختار هستند. این دستگاه‌های نانوحسگر دارای تعدادی ویژگی برجسته هستند [۱] از جمله:

- کاهش اندازه قطعات حسگر و مبدل: کوچک‌سازی دستگاه‌ها؛
- خواص سطح به دلیل نسبت سطح به حجم زیاد؛
- افزایش حساسیت، بهبود محدودیت‌های تشخیص؛
- پاسخ‌های ابزاری سریع‌تر.

این ویژگی‌ها آن‌ها را از فناوری‌های حسگر موجود در حال حاضر متمایز می‌کند.



شکل ۱- طبقه‌بندی انواع نانوحسگرها [۱]

حسگر گاز مبتنی بر نانومواد

نانوحسگر گاز دستگاهی است که وجود گازهای مختلف را در یک منطقه، معمولاً به عنوان بخشی از یک سیستم ایمنی تشخیص می‌دهد. این نوع حسگر شیمیایی برای تشخیص نشت گاز و رابط با یک سیستم کنترل استفاده می‌شود تا یک فرایند به طور خودکار خاموش شود. یک حسگر گاز همچنین می‌تواند به اپراتورها در منطقه‌ای که نشت در آن رخ می‌دهد هشدار بدهد و به آن‌ها فرصت خروج از منطقه را بدهد. این حسگرها می‌توانند برای تشخیص گازهای قابل احتراق، قابل اشتعال و سمی و کاهش اکسیژن استفاده شود. این نوع دستگاه به طور گسترده در نظارت بر محیط زیست، بیمارستان‌ها، آزمایشگاه‌های شیمیایی، دارویی، تحقیقاتی و صنعت استفاده می‌شود. تشخیص گاز با استفاده از اکسیدهای نیمه‌رسانا تا به امروز تأثیر قابل توجهی داشته است. با این حال، نیاز به کار با دستگاه در دمای بالا اغلب استفاده از این نوع تشخیص را محدود می‌کند. با توجه به این محدودیت، پیشنهادی برای اصلاح برخی از پارامترهای ساختاری انجام شده است: به عنوان مثال، جهت و شکل بلور.

یکی از ویژگی‌های مهم نانومواد نسبت سطح به حجم بالای آن‌هاست و این ویژگی مهم نانومواد باعث جذب گازها بر روی حسگر می‌شود و می‌تواند حساسیت دستگاه را افزایش دهد زیرا تعامل بین آنالیت‌ها و قسمت حسگر بیشتر است. جدای از این، بسیاری از مطالعات بر کاهش اندازه اکسیدهای فلزی به شکل نانوذرات و نانوسیم، لایه‌های نازک پلیمرهای رسانا، نانوذرات فلزی و اخیراً نانولوله‌های کربنی نیز برای دستگاه‌های حسگر گاز استفاده شده‌اند. این مواد هنگامی که محرک لایه حسگر را پس از تشخیص مولکولی یا یونی دریافت می‌کنند، خواص الکتریکی (مانند رسانایی یا امپدانس) و خواص نوری (مثلاً ضریب جذب مولی یا ضریب شکست) خود را تغییر می‌دهند [۲].

انواع نانوحسگرهای گاز

■ حسگرهای گاز مبتنی بر نانوذرات فلزی

نانوذرات فلزی رسانایی الکترونیکی را فراهم می‌کنند، در حالی که ماتریس آلی، محل‌های اتصال انتخابی را فراهم می‌کند که در آن‌ها جذب مولکول‌های آنالیت انجام می‌شود. قابلیت کنترل خواص حسگر با طراحی مولکولی از ویژگی‌های جذاب این رویکرد است. در بیشتر موارد، نانوذرات فلزی روی سطح یک بستر پراکنده می‌شوند تا نسبت مساحت/حجم را افزایش دهند و به جذب گازها کمک کنند. نانوذرات فلزی هنگامی که با آنالیت در تماس هستند، خواص الکترونیکی یا خواص زیرلایه خود را تغییر می‌دهند، زیرا مولکول‌های گاز روی فلز جذب می‌شوند. در جدول ۱، خلاصه‌ای از نانومواد مورد استفاده از پایش گازها ارائه شده است.

■ حسگرهای گاز مبتنی بر اکسید فلزی

اکسیدهای فلزی نانوساختار یکی از انواع اصلی مواد مورد استفاده برای ساخت حسگرهای گاز هستند. ماهیت نیمه‌هادی برخی از این ترکیبات باعث می‌شود که رسانایی الکتریکی مواد با تغییر ترکیب جو اطراف تغییر کند؛ بنابراین می‌توان گفت که اکثر این دستگاه‌ها را می‌توان به عنوان نانوحسگرهای رسانایی طبقه‌بندی کرد.

همان‌طور که قبلاً بیان شد، مواد با اندازه نانو نسبت مساحت/حجم بسیار مطلوبی دارند؛ بنابراین برای همان ترکیب شیمیایی، هرچه نانو مواد کوچک‌تر باشند، حسگر حساس‌تر است.

■ حسگرهای گاز مبتنی بر نانولوله کربنی

نانولوله‌های کربنی در زمینه حسگرها بسیار جالب هستند، زیرا با نسبت سطح به حجم بالا و از لحاظ نظری نامحدود مشخص می‌شوند. امروزه، توسعه حسگرهای گاز مبتنی بر نانولوله کربنی به دلیل پاسخ بالا، سطوح تشخیص غلظت زیر ppb، پاسخ سریع، دمای عملیاتی پایین، مصرف انرژی کم، اندازه کوچک برای کوچک شدن دستگاه نانو، بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

■ حسگر گاز مبتنی بر پلیمر

امروزه برای کاربرد سنسجش، پلیمرهای رسانا مانند پلی‌پیرول (PPy)، پلی‌آنیلین (Pani)، پلی‌تیوفن (PTh) و مشتقات آن‌ها نیز به عنوان لایه‌های فعال حسگر گاز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در مقایسه با اکثر حسگرهای تجاری موجود که معمولاً بر پایه اکسیدهای فلزی هستند و در دماهای بالا کار می‌کنند، حسگرهای ساخته شده از پلیمرهای رسانا ویژگی‌های بهبود یافته زیادی دارند. آن‌ها حساسیت بالا و زمان پاسخ کوتاه دارند، به ویژه آن دسته از حسگرهایی که در دمای اتاق کار می‌کنند. سنتز پلیمرهای رسانا از طریق فرایندهای شیمیایی یا الکتروشیمیایی آسان است و ساختار زنجیره مولکولی آن‌ها را می‌توان به راحتی با کوپلیمریزاسیون یا مشتقات ساختاری اصلاح کرد. علاوه بر این، پلیمرهای رسانا خواص مکانیکی خوبی دارند که امکان ساخت آسان حسگرها را فراهم می‌کند. مشکلات اصلی مرتبط با این مواد عبارت‌اند از عدم گزینش پذیری آن‌ها و پایداری کمتر آن‌ها نسبت به زمان و دما. مواد افزودنی مانند نانوذرات کربن یا الیاف برای افزایش گزینش پذیری و پایداری حسگرهای مبتنی بر پلیمر مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۳، ۴].

جدول ۱- خلاصه‌ای از حسگرهای مبتنی بر نانو ساختار برای پایش کیفیت هوا [۱]

| گاز | مواد | مورفولوژی | حسگر |
|--------------------|---|---------------|---------|
| CO/CH ₄ | SnO ₂ | Quantum dots | مقاومتی |
| NO ₂ | SnO ₂ -core/ZnO-shell | Nanowires | |
| VOCs | TiO ₂ -core/SnO ₂ shell | Nanofibers | |
| NO ₂ | Reduced Graphene Oxide/MoS ₂ | 2D-nanosheets | |
| CO/NO ₂ | Au-Carbon nanotubes | Nanotubes | |

ادامه جدول ۱- خلاصه‌ای از حسگرهای مبتنی بر نانوساختار برای پایش کیفیت هوا [۱]

| گاز | مواد | مورفولوژی | حسگر |
|--------------------|--|------------------------|---------|
| NO ₂ | SnO ₂ | Nanofibers | مقاومتی |
| NO ₂ | SnO ₂ | Nanofibers | |
| H ₂ S | Graphene/Cu ₂ O | Nanosheet | |
| NO ₂ | In ₂ O ₃ | Nanorod-flowers | |
| NO ₂ | WO ₃ | like-flower | |
| NO ₂ | ZnO | polygonal nanoflakes | |
| NO ₂ | WO ₃ /porous silicon | Nanoparticles | |
| NO ₂ | SnO ₂ @ZnO | Hierarchical | |
| VOCs | SnO ₂ | 3D Hierarchical | |
| NO ₂ | Reduced Graphene Oxide/ZnO | 2D Nanoparticles | |
| CO | CuO/graphene | Nanoflowers/nanosheets | |
| NO ₂ | MoS ₂ | Nanosheets | |
| H ₂ S | SnO ₂ /Reduced Graphene Oxide | QantumWire/nanosheets | |
| CO, VOCs | Reduced Graphene oxide /ZnO | Nanosheets/nanofibers | |
| H ₂ S | SnO ₂ | Nanocrystalline | |
| NO ₂ | ZnO | Nanocrystalline | |
| VOCs | ZnO-CuO/carbon nanotubes | Nanocomposite | |
| H ₂ /CO | Graphene | Nanosheets | |

ادامه جدول ۱- خلاصه‌ای از حسگرهای مبتنی بر نانوساختار برای پایش کیفیت هوا [۸]

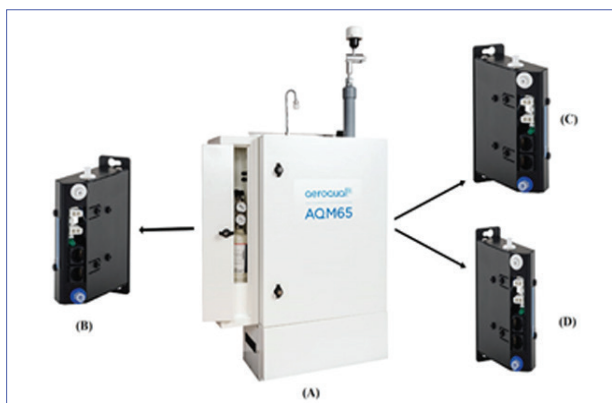
| گاز | مواد | مورفولوژی | حسگر |
|------------------|----------------------------|------------------------|----------|
| $C_6H_6/CO/NO_2$ | Multiwall carbon nanotubes | Nanotubes | وزن سنجی |
| VOCs | ZnO | Nanorods/ nanotubes | |

شرکت‌های فعال در حوزه نانوحسگرها

■ شرکت‌های فعال خارجی در حوزه نانوحسگرها

با توجه به اهمیت بسیار زیاد پایش آلودگی هوا و پتانسیل بسیار بالای نانوحسگرها در این زمینه، سازمان‌های بین‌المللی، شرکت‌ها و مؤسسات زیادی اقدام به طراحی، توسعه و ساخت نانوحسگرهای تشخیص آلودگی هوا نموده‌اند. از میان این شرکت‌ها و مؤسسات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

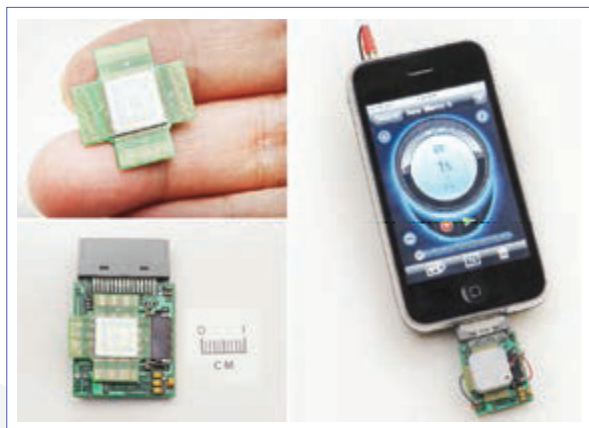
شرکت نیوزیلندی آیروکوآل^۶ که زمان تأسیس آن به سال ۲۰۰۱ بازمی‌گردد، در زمینه تولید تجهیزات و حسگرهای پایش کیفیت هوا فعالیت دارد و محصولاتش برای فضاها و باز و سرپوشیده در اختیار مشتریان خود قرار می‌دهد. در سال‌های اخیر این شرکت شروع به فعالیت در حوزه فناوری کرده و در همین راستا چندین نانوحسگر مختلف نیز به بازار عرضه کرده است. مهم‌ترین این نانوحسگرها که در یکی از دستگاه‌های پایش کیفیت هوای این شرکت به نام AQM65 به کار می‌روند، نانوحسگرهایی برای اندازه‌گیری مونوکسید کربن، سولفید هیدروژن و دی‌اکسید سولفور هستند. این نانوحسگرهای الکتروشیمیایی شامل یک الکتروودکار هستند که با نوعی نانوکاتالیست خاص پوشیده شده است.



شکل ۲- (A) دستگاه AQM65 ساخت شرکت آیروکوآل برای پایش کیفیت هوا و

نانوحسگرهای اندازه‌گیری (B) H_2S ، (C) SO_2 و (D) CO

سازمان فضایی آمریکا NASA نیز برای پایش آلودگی ناشی از ذرات معلق در هوا اقدام به ساخت نانوحسگر نموده است. این نانوحسگر بسیار کوچک از ترکیب ۶۴ نانوحسگر با یکدیگر ساخته شده و می‌توان در ساخت حسگرهای قابل حمل نیز از آن استفاده کرد. یک نمونه از طراحی‌هایی که از این نانوحسگر در ساخت آن استفاده شده است و می‌توان آن را به تلفن همراه متصل و بدین وسیله مقادیر برخی آلاینده‌ها همچون ذرات معلق را اندازه‌گیری نمود، در شکل ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۳- نانوحسگر پایش ذرات معلق ساخته شده توسط NASA

همچنین شرکت آرنوس^۶ یکی از شرکت‌هایی است که در زمینه ساخت حسگرهای گازی بر پایه نانومواد پیشگام است. محصولات حسگری شرکت آرنوس دارای آرایه‌های بسیار کوچک برای شناسایی ترکیبات گازی حتی در غلظت‌های بسیار پایین (ppb) است و از آن‌ها می‌توان برای نظارت بر کیفیت هوای داخل و خارج از ساختمان استفاده کرد. این محصولات قابلیت استفاده برای تشخیص گازهای خطرناک و همچنین استفاده به عنوان بینی الکترونیکی را دارا هستند. نظارت بر کیفیت هوا در خانه‌های هوشمند، شهرهای هوشمند، ساختمان‌های تجاری، حمل و نقل و دیگر کاربری‌ها با محدودیت عملکرد حسگرهای گازی موجود روبه‌رو است. با شناسایی چندین گاز به صورت هم‌زمان، در سطح ppb، کاربران این امکان را پیدا می‌کنند تا با یک محصول منحصر به فرد در بخش حسگری کار کنند. با استفاده از فناوری $AerN_2S$ ، محققان شرکت آرنوس دستگاهی ساخته‌اند که می‌تواند از آن را با حساسیت بالا شناسایی کند، این کار در مقادیر بسیار کم و در مقیاس ppb صورت می‌گیرد. حسگرهای چندگازی آرنوس برای گازهای ویژه‌ای تنظیم شده‌اند که در این میان از ن فرمالدهید به همراه آمونیاک، دی‌اکسید نیتروژن و ترکیبات آلی فرار از جمله ترکیباتی هستند که با استفاده از فناوری این شرکت در مقیاس‌های بسیار کم قابل شناسایی هستند.

شرکت هانیول^۷ یکی دیگر از مطرح‌ترین تولیدکنندگان حسگرهای مورد استفاده در صنایع نفت، گاز، پالایش

و پتروشیمی در دنیاست. این شرکت در زمینه ساخت حسگرهای مورد استفاده در رصد فرایندها و همچنین در زمینه ساخت حسگر تشخیص گازهای خطرناک، بخش بزرگی از بازار را به خود اختصاص داده است. در گزارش های تحلیلی که به پیش بینی بازیگران کلیدی بازار نانوحسگرها در آینده می پردازند، هانیول به عنوان یکی از شرکت های کلیدی این عرصه قلمداد می شود.

■ شرکت های فعال داخلی در حوزه نانوحسگرها

متأسفانه علی رغم وجود پتانسیل علمی بسیار بالا در زمینه ساخت نانوحسگرها در داخل کشور، تاکنون شرکتی به طور تخصصی به این حوزه وارد نشده است؛ هرچند مطالعات علمی بسیاری در این زمینه صورت می پذیرد. در راستای این مطالعات برخی موارد نیز به صورت اختراع به ثبت می رسند که از میان مهم ترین آن ها می توان به دستگاه نانوحسگر تشخیص انواع آلاینده ها با توانایی شناسایی آلاینده ها در حد یک نانوگرم در دانشگاه تبریز اشاره کرد. این نانوحسگرها براساس خاصیت پیزوالکتریک معکوس ساخته شده اند و در تشخیص و اندازه گیری گازهای مختلف، مواد شیمیایی و ذرات معلق کاربرد دارند. این نانوحسگر با تغییراتی که بر روی فرکانس بلورهای پیزوالکتریک ایجاد می شود، نوع ماده را مشخص و مقدار آن را اندازه گیری می کند. همچنین می توان با تغییر نانو پوشش ایجاد شده بر روی سطح نانوحسگر، نوع ماده مورد نظر برای شناسایی را تغییر داد.

نتیجه گیری

مانند هر فناوری دیگری، همیشه چالش هایی وجود دارد که باید با آن ها روبه رو شد و حوزه نانوحسگرهای شیمیایی نیز از این قاعده مستثنا نیست. برخی از این موارد در کاهش هزینه مواد و دستگاه ها و بهبود گزینش پذیری، حساسیت، پایداری و تکرار پذیری آن هاست. چالش دیگری که با آن مواجه است، بسته بندی واقعی آن ها و قرارداد آن ها در محصولی است که برای مصرف کنندگان مفید است. شاید یکی از بزرگ ترین چالش های نانوحسگرهای شیمیایی در تولید واقعی آن ها باشد. در آینده، شکی نیست که اکسیدهای فلزی نانوبلوری کلید توسعه حسگرهای گاز نیمه رسانا برای نظارت بر محیط زیست با بهبود خواص حسگر گاز را تشکیل خواهند داد. نه تنها در حسگرهای گاز شیمیایی، بلکه به طور کلی در حسگرهای گاز حالت جامد، مواد نانو ساختار نقش اساسی و تعیین کننده ای در حسگرهای گاز نسل جدید خواهند داشت. فناوری نانو در واقع تلاش زیادی را صرف توسعه مواد جدید برای کاربردهای حسگر گاز می کند. برخی از مزایای استفاده از نانوحسگرهای شیمیایی به دلیل اندازه کوچک آن ها، به دلیل این واقعیت است که آن ها حساسیت بالاتر در تشخیص انواع آلاینده های گازی دارند و به انرژی کمتری برای اجرا نیاز خواهند داشت.

انتظار می رود که بازار جهانی نانوحسگرها از ۸۵ میلیون دلار در سال ۲۰۱۶ تا ۵،۵۵۰ میلیون دلار در سال ۲۰۲۴ رشد کند که این میزان برابر با رشد سالانه ۶۸،۷ درصد خواهد بود [۷]. مزیت رقابتی این نانوحسگرها از جمله قیمت مقرون به صرفه، دقت بالا و مصرف انرژی پایین از جمله عواملی هستند که چنین رشدی در بازار نانوحسگرها را نوید می دهند. پیشرفت در فرایندهای تولید مواد پیشرفته و همچنین ظهور فناوری های جدید مثل اینترت اشیا (که نیاز به طیف وسیعی از حسگرها با دقت بالا دارد) در سال های پیش رو فرصت های مناسبی را در اختیار تولید کنندگان نانوحسگرها قرار خواهد داد.

پی‌نوشت‌ها

- ۱ Nanoparticles
- ۲ Nanotubes
- ۳ Nanorods
- ۴ Nanobelts
- ۵ Nanowires
- ۶ Aeroqual
- ۷ AerNos
- ۸ Honeywell

منابع

- ۱ Javid M, Haleem A, Singh RP, Rab S, Suman R. Exploring the potential of nanosensors: A brief overview. *Sensors International*. 2021;2:100-130.
- ۲ Santos JP, Sayago I, Aleixandre M. Air quality monitoring using nanosensors. *Nanomaterials for Air Remediation: Elsevier*; 2020; 9-31.
- ۳ Chen X, Leishman M, Bagnall D, Nasiri N. Nanostructured gas sensors: From air quality and environmental monitoring to healthcare and medical applications. *Nanomaterials*. 2021;11(8):1927.
- ۴ Pandey S, Mishra SB. Chemical nanosensors for monitoring environmental pollution. *Application of nanotechnology in water research*. 2014:309-32.
- ۵ <http://www.aeroqual.com>.
- ۶ http://www.nasa.gov/centers/ames/news/features/2009/cell_phone_sensor.html
- ۷ <https://www.variantmarketresearch.com/report-categories/semiconductor-electronics/nanosensors-market>.

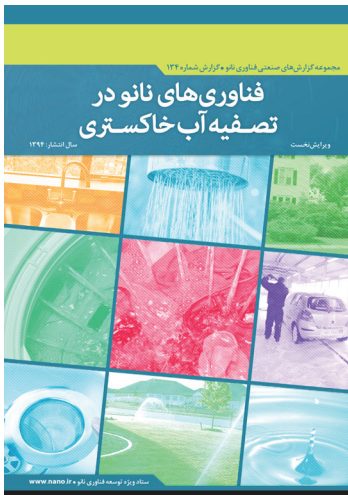
از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو در حوزه آب، پساب و محیط‌زیست منتشر شده است



■ استفاده از فناوری نانوحباب در تصفیه آب، پساب‌های خانگی و فاضلاب‌های صنعتی



■ حل مشکل پساب‌های صنعتی در آبکاری کروم با استفاده از فناوری نانو



■ فناوری‌های نانو در تصفیه آب خاکستری



■ کاربردهای فناوری نانو در حذف آلودگی از آب